

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA



ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO  
INVERNADERO A LO LARGO DEL CICLO DE VIDA DE LAS  
CARRETERAS

TESIS DOCTORAL DE:

**ÁLVARO BERZOSA GONZÁLEZ**

BAJO LA DIRECCIÓN DE:

**JESÚS MARÍA BARANDICA FERNÁNDEZ  
GONZALO FERNÁNDEZ SÁNCHEZ**

Madrid, 2013

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**



**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**Departamento de Ecología**



**Análisis de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero  
a lo largo del Ciclo de Vida de las Carreteras**

**Memoria para optar al grado de Doctor presentada por**

**Álvaro Berzosa González**

**Bajo la dirección de los doctores**

**Jesús María Barandica Fernández y Gonzalo Fernández Sánchez**

**Madrid, Marzo de 2013**





*" Cada persona, en su existencia, puede tener dos actitudes: construir o plantar. Los constructores un día terminan aquéllo que estaban haciendo y entonces les invade el tedio. Los que plantan a veces sufren con las tempestades y las estaciones, pero el jardín jamás para de crecer. "*

Paulo Coelho



Los Profesores Doctores Jesús María Barandica Fernández, del departamento de Ecología de la Universidad Complutense de Madrid, y Gonzalo Fernández Sánchez, del departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Europea de Madrid,

Hacen constar,

Que la memoria adjunta titulada **“Análisis de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero a lo largo del Ciclo de Vida de las Carreteras”** presentada por Álvaro Berzosa González ha sido realizada bajo su dirección y cumple las condiciones exigidas para optar al grado de Doctor en Biología por la Universidad Complutense de Madrid.

Y para autorizar su presentación y evaluación por el tribunal correspondiente, firman el presente certificado a 15 de marzo de 2013.

Vº Bº de los Directores de la Tesis

Jesús María Barandica Fernández

Gonzalo Fernández Sánchez

El doctorando

Álvaro Berzosa González



## Agradecimientos

Me gustaría empezar esta tesis agradeciendo su apoyo a mis dos directores, Jesús María Barandica y Gonzalo Fernández, por múltiples razones. En primer lugar porque gracias a ellos pude sumarme desde el año 2009 a la línea de investigación 4.4 del proyecto CLEAM, que ha hecho posible la realización de esta tesis. En segundo lugar, porque en los últimos años son innumerables las horas dedicadas a reuniones, tutorías y correcciones dedicadas por ambos al presente trabajo. Y por último, me gustaría agradecerles la cercanía que han tenido, su predisposición constante a resolver las dudas que han surgido, y el buen carácter mostrado durante todo este tiempo frente a las adversidades que siempre aparecen en este tipo de trabajos.

Además quiero agradecer su aportación al resto de miembros del equipo de investigación participantes en la línea 4.4 del proyecto CLEAM, en especial a Juan Antonio Delgado, por su inestimable ayuda en el capítulo de Sistemas Naturales. También al resto de compañeros del Departamento de Ecología que me han regalado sus consejos. Sin la ayuda de todos ellos no hubiera sido posible mostrar los resultados que se exponen en esta tesis.

Por último, y no por ello menos importante, estoy en deuda con todos aquellos que me han sufrido durante la realización de la tesis. Con mis amigos por compartir los buenos momentos, y apoyarme en los menos buenos. Con toda mi familia (la de aquí y la de allá), que han facilitado que mi dedicación a esta tesis sea exclusiva durante los últimos años. Quisiera terminar dedicándole esta tesis a Azpe, mi pareja, a la que ni en mil páginas podría agradecerle todas las cosas que ha hecho por mí en estos años.



# Índice

<b>1 Introducción.....</b>	<b>13</b>
1.1 El cambio climático como problema de estudio.....	13
1.1.1 Contexto General.....	13
1.1.2 El Cambio Climático en la Construcción de Carreteras.....	17
1.2 Estado del arte y justificación del estudio.....	19
1.2.1 Inventarios.....	19
1.2.2 Estándares de cálculo.....	20
1.2.3 Herramientas y bases de datos.....	23
1.2.4 Estudios de caso.....	25
1.2.5 Síntesis de la revisión.....	28
1.3 Objetivos.....	31
1.4 Alcance y unidad funcional.....	31
1.4.1 Unidad funcional.....	31
1.4.2 Alcance.....	32
1.4.3 Consideraciones metodológicas del alcance.....	36
1.4.4 Calidad de los datos .....	39
<b>2 Análisis de la Información.....</b>	<b>40</b>
2.1 Maquinaria.....	42
2.1.1 Maquinaria de obra.....	43
2.1.2 Maquinaria transporte.....	45
2.2 Materiales.....	46
2.2.1 Áridos.....	48
2.2.2 Hormigones.....	50
2.2.3 Mezclas bituminosas .....	54
2.2.4 Madera.....	55
2.2.5 Metales.....	55
2.2.6 Pinturas.....	56
2.2.7 Plásticos sólidos.....	57
2.2.8 Tierra vegetal.....	57
2.2.9 Residuos.....	58
2.3 Energía.....	59
2.3.1 Combustibles .....	59
2.3.2 Renovables y nuclear.....	61



2.3.3 Mix electricidad.....	62
2.4 Sistemas naturales.....	67
<b>3 Sistemas Naturales.....</b>	<b>70</b>
3.1 Procedimiento para calcular balances de CO2 .....	71
3.2 Categorización.....	74
3.2.1 Categorización de las superficies cultivadas.....	75
3.2.2 Categorización de las superficies forestales.....	78
3.2.3 Categorización de las superficies cubiertas por matorrales y herbáceas.....	81
3.2.4 Categorización de las plantaciones.....	84
3.3 Determinación del contenido en carbono asociado a cada categoría.....	85
3.3.1 Carbono en la biomasa viva.....	87
3.3.2 Madera Muerta.....	88
3.3.3 Detritos sobre el suelo.....	89
3.3.4 Materia orgánica del Suelo.....	89
3.3.5 Plantaciones.....	90
3.4 Determinación del carbono secuestrado a largo plazo por los sistemas naturales.....	91
<b>4 Responsabilidad de las emisiones.....</b>	<b>97</b>
4.1 Necesidad de asignación de responsables.....	97
4.2 Aproximaciones existentes al problema .....	100
4.2.1 Consistencia de estas aproximaciones .....	104
4.2.2 Dificultad para su aplicación a la construcción de infraestructuras lineales .....	108
4.3 Propuesta de asignación CO2NSTRUCT.....	109
4.3.1 Esquema de asignación.....	109
4.3.2 Relación entre responsables y sectores.....	116
4.4 Propuesta MTD .....	117
<b>5 Aplicación web para el cálculo de emisiones de GEI en proyectos de carreteras: CO2NSTRUCT .....</b>	<b>121</b>
5.1 Introducción y objetivos de la herramienta .....	121
5.2 Características generales de la herramienta .....	123
5.3 Entrada de datos .....	127
5.3.1 Gestión de la información de base.....	127
5.3.2 Gestión de proyectos.....	129
5.3.3 Creación de escenarios.....	132
5.4 Cálculo de emisiones.....	134
5.4.1 Emisiones de maquinaria de obra (off-road).....	135

5.4.2 Emisiones de materiales.....	139
5.4.3 Emisiones y captaciones de Sistemas Naturales.....	142
5.4.4 Emisiones de residuos.....	145
5.4.5 Emisiones de maquinaria de transporte.....	146
5.4.6 Cálculo del agregado de emisiones de CO <sub>2</sub> e.....	148
5.4.7 Asignación de la responsabilidad de las emisiones.....	148
5.5 Salida de resultados .....	149
<b>6 Casos de estudio y resultados.....</b>	<b>152</b>
6.1 Casos de estudio.....	152
6.1.1 Proyecto 1: Autovía IV Centenario, tramo Ciudad Real – Granátula de Calatrava.....	152
6.1.2 Proyecto 2: Autovía del Mediterráneo, tramo La Gorgoracha - N 340 .....	153
6.1.3 Proyecto 3: Autopista GC-1, tramo Puerto Rico – Mogán.....	153
6.1.4 Proyecto 4: Interconexión Carretera CM-3201 con la Autovía A-31 .....	154
6.1.5 Características técnicas principales de los proyectos.....	154
6.2 Resultados.....	157
6.2.1 Emisiones GEI totales .....	157
6.2.2 Comparativa entre las etapas analizadas y las emisiones debidas al tráfico.....	159
6.2.3 Áreas más influyentes según su contribución a las emisiones GEI en Construcción.....	160
6.2.4 Elementos más influyentes en las emisiones GEI en Construcción.....	161
6.2.5 Emisiones de GEI en Construcción según la contribución de los distintos sectores involucrados .....	162
6.2.6 Emisiones de GEI en construcción según responsables.....	164
<b>7 Escenarios.....</b>	<b>166</b>
7.1 Introducción.....	166
7.2 Escenarios relacionados con la Maquinaria.....	168
7.2.1 Caso base frente a maquinarias de 5 años de antigüedad.....	168
7.2.2 Caso base frente a maquinaria y luminarias con las mejores tecnologías.....	170
7.2.3 Caso base frente a maquinarias usando biodiésel B20.....	173
7.3 Escenarios relacionados con los Materiales.....	176
7.3.1 Caso Base frente a materiales importados .....	176
7.3.2 Caso base frente a materiales con origen nacional a 800 km de distancia.....	180
7.3.3 Caso base frente a Mix eléctrico 100 % renovables en la producción de materiales.....	182
7.3.4 Caso base frente a firme de distinta composición (hormigón) y sección.....	183
7.3.5 Caso base frente al uso de MBF en firmes.....	186
7.3.6 Caso base frente al uso de materiales reciclados y reutilizados.....	187
7.4 Escenarios conjuntos.....	189

7.5 Escenarios metodológicos.....	192
7.5.1 Escenario responsables MTD.....	192
7.5.2 Escenario TAWP, o emisiones retardadas.....	196
<b>8 Discusión General.....</b>	<b>198</b>
8.1 Metodología.....	198
8.2 Casos de estudio.....	203
8.3 Escenarios.....	208
8.3.1 Escenarios relacionados con la maquinaria.....	208
8.3.2 Escenarios relacionados con los materiales.....	210
8.3.3 Escenarios conjuntos.....	213
8.3.4 Escenarios metodológicos.....	214
<b>9 Conclusiones.....</b>	<b>218</b>
<b>10 Resumen en inglés.....</b>	<b>222</b>
10.1 Introduction.....	222
10.2 Objectives.....	224
10.3 Scope and methodology.....	224
10.4 Case studies and results .....	229
10.4.1 Total GHG emissions .....	231
10.4.2 Most relevant areas according to their GHG emissions in construction stage.....	232
10.4.3 Most significant elements of GHG emissions in construction stage.....	233
10.4.4 GHG emissions in construction stage according to the contribution of the involved sectors .....	233
10.4.5 GHG emissions in construction stage according to the responsibility allocation.....	234
10.4.6 Scenarios.....	235
10.5 Discussion.....	236
10.6 Conclusions.....	241
<b>Bibliografía.....</b>	<b>242</b>
<b>Anexo I: Base de datos utilizada en los proyectos.....</b>	<b>259</b>
<b>Anexo II: Estructura y emisiones a máximo desglose de los proyectos .....</b>	<b>264</b>

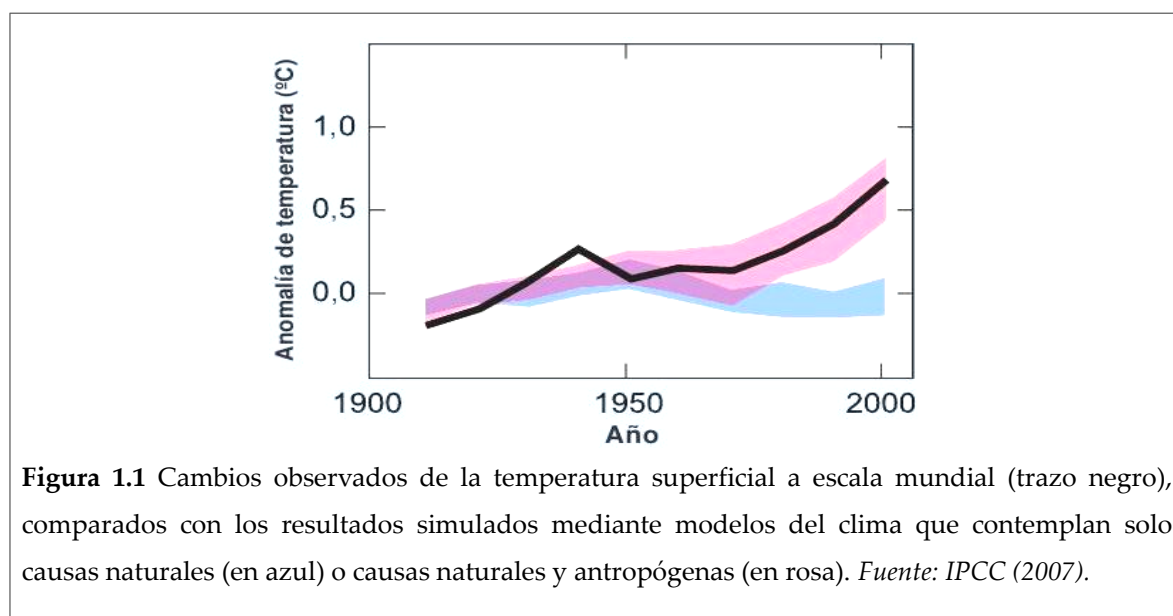
# 1 Introducción

## 1.1 El cambio climático como problema de estudio

### 1.1.1 Contexto General

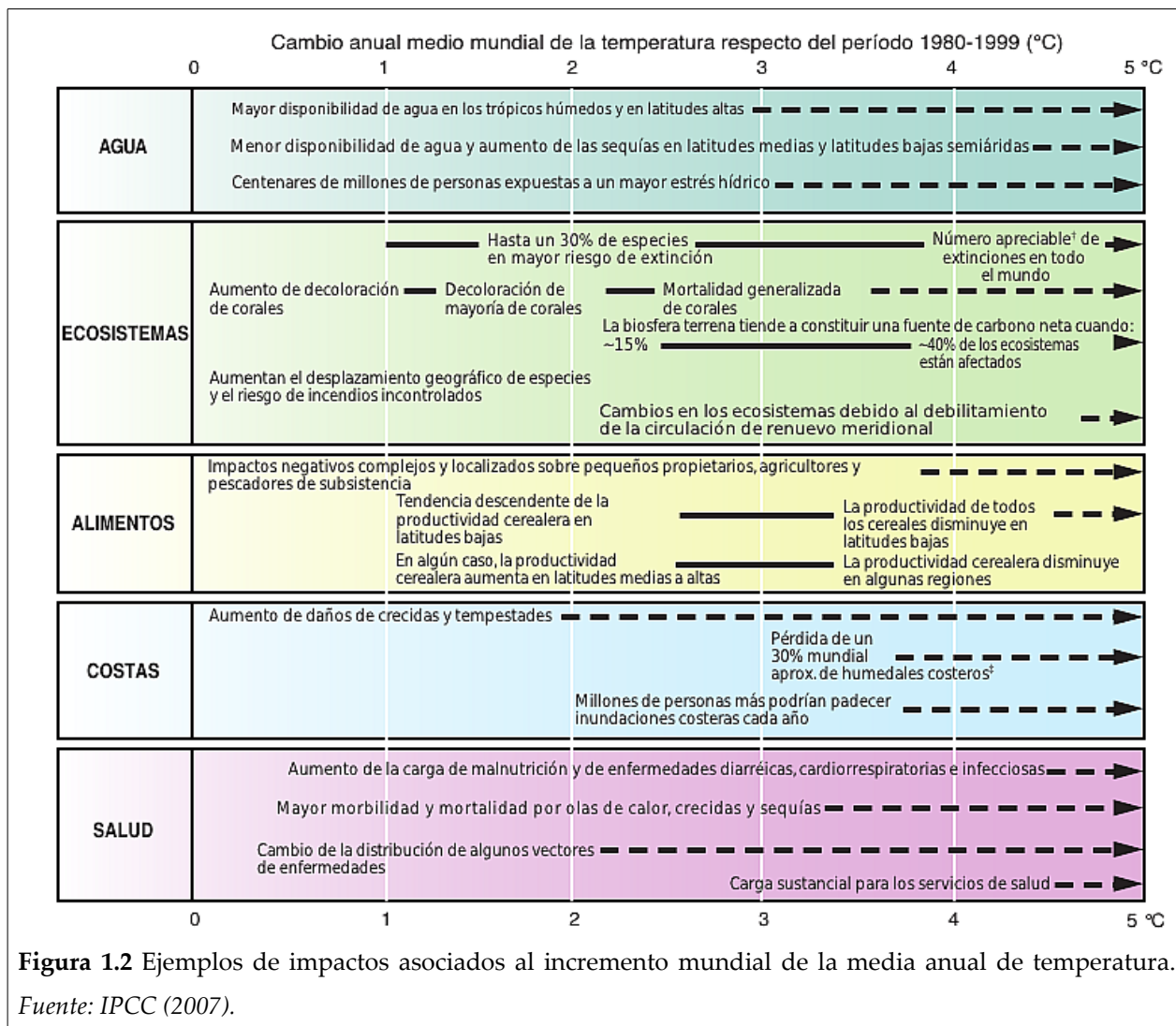
En las últimas décadas ha aumentado la preocupación por los efectos del hombre sobre el clima. El llamado cambio climático se ha identificado como uno de los grandes problemas ambientales de nuestro tiempo. Ya en 1988 se estableció el Panel Intergubernamental del Cambio Climático, conocido por el acrónimo en inglés IPCC, por parte de la Organización Meteorológica Mundial (WMO) y el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (PNUMA) con el propósito de vigilar este problema analizando la información científica disponible.

Uno de los objetivos del IPCC es valorar si este cambio climático tiene causas de origen antropogénico o son naturales. La evolución de la opinión de la comunidad científica ha ido desde no poder atribuir al hombre efecto alguno sobre el clima (IPCC, 1990) hasta afirmar (IPCC, 2007) que, con una probabilidad mayor del 90%, el calentamiento global es provocado en gran parte por las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI) (figura 1.1).

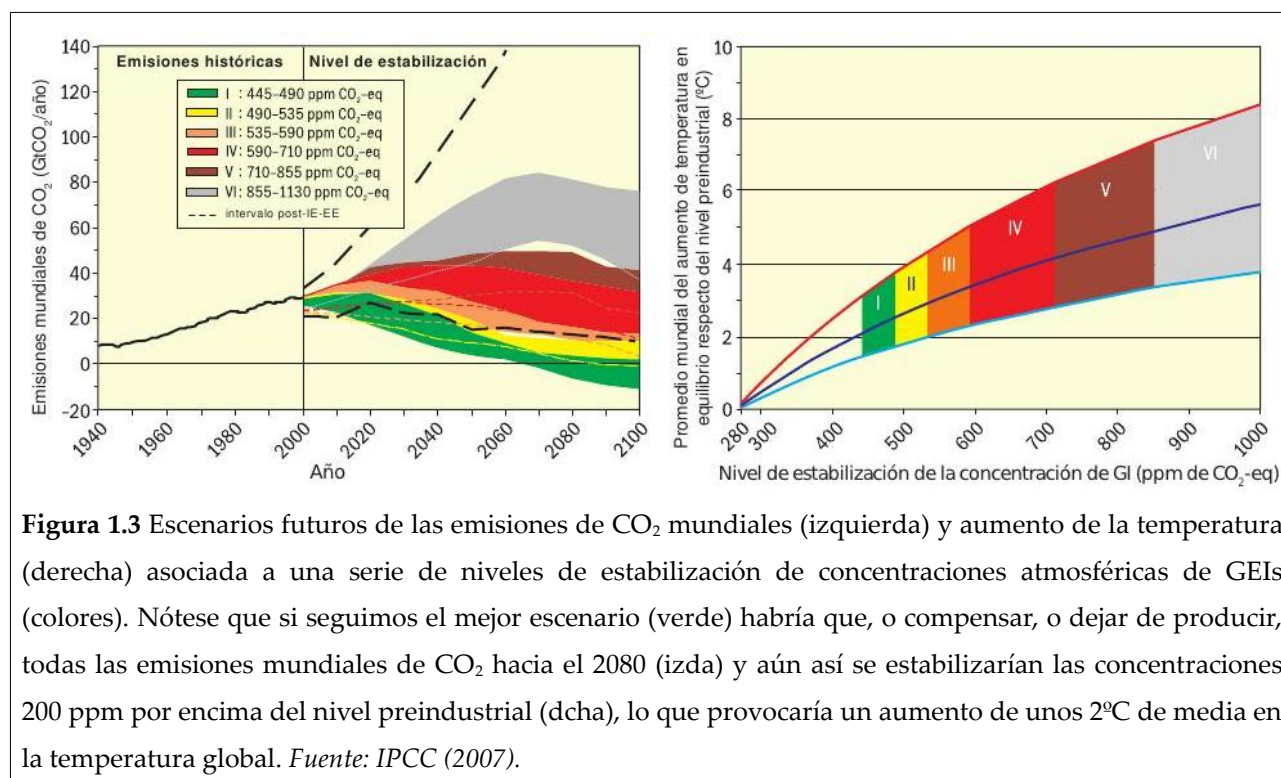


Aparte de los argumentos que apuntan que el ser humano se encuentra en las causas del cambio climático, lo que resulta más seguro es que seremos víctimas de las consecuencias de éste. Si no existen medidas de mitigación del cambio climático, los escenarios que se barajan por parte

del IPCC auguran una subida de entre 1 y 6,4°C para finales de este siglo. Y un aumento de temperatura provocaría una serie de impactos como los señalados en la figura 1.2.



Sin embargo, para detener el aumento de la temperatura no basta con reducir la tasa de emisión de GEIs, sino que es necesario estabilizar las concentraciones de estos GEIs en la atmósfera, donde pueden residir largos periodos de tiempo, dado que estos gases están sujetos a ciclos biogeoquímicos complejos (IPCC, 2007). Esta necesidad de estabilizar concentraciones implica que cuanto antes se empiecen a tomar medidas de mitigación, menor será el aumento de temperatura final al que tendremos que hacer frente (figura 1.3), y por tanto, menores serán los impactos que se darán sobre los ecosistemas y sobre el hombre.



Paralelamente al desarrollo científico, el tema ha irrumpido con fuerza en la agenda política de los países desarrollados. Bien sea por la magnitud global de sus efectos sobre el clima, o por la dificultad a nivel técnico, económico y político que atañe controlar, estabilizar y reducir concentraciones de estos gases a tan gran escala, se ha buscado activamente un consenso mundial en esta materia.

Esta preocupación a nivel político, hizo que ya en 1994 se adoptara el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), auspiciado por la ONU (Naciones Unidas, 1992). El acuerdo cristalizó en 1997 con el conocido Protocolo de Kioto, que fue incluido en la legislación de la mayoría de los países firmantes, como por ejemplo, los de la UE (Naciones Unidas, 1998). Sin embargo hasta 2005 no empezó a aplicarse ya que no había suficientes países que lo hubieran ratificado como para que pudiera ser efectivo.

En el Protocolo de Kioto se impone la necesidad de alcanzar unos niveles de emisiones determinados para el año 2012, según el país, usando como referencia los de 1990. La responsabilidad de inventariar y cumplir estos compromisos la poseen los gobiernos firmantes en representación de sus ciudadanos y empresas (Naciones Unidas, 1998). Los inventarios nacionales

son la herramienta principal a la hora de justificar las emisiones de los países, se realizan anualmente y bajo unos criterios uniformes, para poder ser validados bajo el CMNUCC. Estos inventarios, como veremos más adelante, tienen una resolución limitada a ciertos GEIs ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) y únicamente para algunas de las actividades analizadas (Naciones Unidas, 1992).

Para alcanzar los objetivos marcados por el Protocolo de Kioto se han articulado, en la Unión Europea (UE), una serie de mecanismos, como el Comercio de Derechos de Emisión de GEIs (Unión Europea, 2003). Este sistema de comercio es de obligado cumplimiento para sectores de la industria y la energía que comparten dos características principales, tienen fuentes de emisiones localizadas (estáticas o no difusas) y producen un porcentaje elevado sobre el total de emisiones (45% del total, (España, 2006)) en un número pequeño de grandes instalaciones (centrales térmicas, altos hornos...). Este mercado de emisiones tiene como objetivo alcanzar de manera coste-eficiente los compromisos firmados, transfiriendo, bajo el principio de quien contamina paga, la responsabilidad de disminuir las emisiones de GEI a las empresas que las producen. En principio este mercado solo cubre emisiones de  $\text{CO}_2$ , aunque se prevé que vaya cubriendo en posteriores revisiones todos los GEIs. En España, el comercio y asignación de los derechos de emisión viene regido, hasta 2013, por la Ley 1/2005 y el Plan Nacional de Asignación de Derechos de Emisión, más conocido como PNADE (España, 2005, 2006).

Sin embargo, esta legislación no se aplica a otros sectores de la economía que provocan el 55% de las emisiones totales de forma difusa, como el transporte, los edificios, la agricultura y la construcción, a pesar de que en el Protocolo de Kioto se tienen en cuenta todas las emisiones del país, sin distinciones por sectores. Las razones para que no se aplique el comercio de derechos de emisión a estos sectores son por un lado, la inmensa diversidad de focos de emisión que tienen y por otro la movilidad de dichos focos en muchos casos. Estas circunstancias provocan que a día de hoy sea casi imposible medir y asignar responsabilidades al gran número de actores implicados, al menos de la forma que se viene haciendo con los sectores regulados (mediciones directas en el foco...). De hecho, desde la Comisión Europea se señala que “el régimen de comercio de derechos de emisión debería ampliarse únicamente a las emisiones que pudieran ser objeto de seguimiento, notificación y verificación con el mismo grado de precisión que el que imponen los requisitos en la materia con arreglo a la Directiva actual” (Comisión de la Unión Europea, 2008).

### **1.1.2 El Cambio Climático en la Construcción de Carreteras**

Dentro de los sectores no regulados, en nuestro país ha sido y es de gran importancia el sector de la construcción, tanto la edificación, ahora en crisis, como la obra civil. Dentro de la obra civil, es en el ámbito de las infraestructuras lineales, y más concretamente en las carreteras, donde se centra el presente trabajo. Los proyectos de carretera en España son en muchas ocasiones bastante complejos de diseñar y ejecutar, principalmente por la orografía tan accidentada que existe en la península Ibérica, en comparación con el resto del continente europeo. No obstante, la red de carreteras es extensa y bastante moderna, habiéndose triplicado en los últimos 20 años los kilómetros de vías de alta capacidad, con más de 10 000 nuevos km desde 1991 (INE, 2012). En España se licitaron, sólo en 2008, proyectos de carreteras por valor de 12 254 millones de euros (Ministerio De Fomento, 2010), dato que ilustra la importancia económica del sector. Se trata además, de una actividad que provoca la transformación del medio sobre el que actúa, provocando múltiples impactos sobre los ecosistemas, entre ellos, gran cantidad de emisiones de GEIs. Según Steger & Bleischwitz (2011), la construcción de carreteras es una de las tres actividades que más recursos consume en números totales dentro de la Unión Europea.

Sin embargo, dentro del sector de la construcción, únicamente está sujeto al control directo y comercio de derechos de emisión la producción a gran escala de ciertos materiales (cemento, cal, acero, aluminio y ladrillos cerámicos), quedando fuera de este control todas las actividades de obra, tanto en edificación como en obra civil (España, 2005). Esta falta de seguimiento puede deberse a la naturaleza difusa de las emisiones, producidas en múltiples focos de emisión y también a la singularidad y temporalidad de las obras, características que complican la realización de un análisis simple y preciso.

A todo esto hay que sumar la compleja estructura empresarial que se da en los proyectos de carreteras, con multitud de agentes implicados, y donde el promotor es, por lo general, la administración. Esta estructura dificulta en gran medida la atribución a un agente de las emisiones producidas, requisito básico para establecer cualquier sistema de comercio de emisión.

Pese a no estar actualmente obligadas por ley, las empresas constructoras se vienen interesando por el tema del cambio climático, por mejorar su responsabilidad social empresarial y



sacar provecho de la misma ante la posibilidad de incluir criterios de huella de carbono en pliegos de condiciones para las adjudicaciones de proyectos. Estas empresas, multinacionales en su mayoría, se enfrentan a una creciente presión por parte de sus stakeholders (accionistas, usuarios de la carretera, asociaciones ecologistas...) para que aminoren los impactos provocados en el entorno, que son de magnitud considerable. Además, les interesa contabilizar sus emisiones para estar preparadas ante una posible ampliación de la normativa de derechos de emisión a medio o largo plazo, ya que se está valorando el método para evaluar y controlar las emisiones de estas infraestructuras. A corto plazo, en el próximo periodo del mercado europeo de Derechos de Emisión (2013-2016) no se considera aún su inclusión, aunque se empiezan a incluir actividades de emisiones difusas, como el transporte aéreo (Unión Europea, 2009). Los únicos mercados en los que podrían estas empresas participar actualmente son los llamados mercados voluntarios, que se desarrollaron principalmente en los EEUU, y para los cuales también es necesario obviamente certificar por una tercera parte las emisiones evitadas.

Las escalas para el análisis de las emisiones de esta actividad son múltiples, incluyendo el nivel operativo (un proyecto), el nivel de la empresa, y el del sector de actividad empresarial a nivel nacional. En la dimensión temporal, se puede distinguir entre balances anuales o de proyectos completos, siendo relevante contemplar las repercusiones de las decisiones en fase de diseño o construcción en el periodo de vida útil de la infraestructura.

En función de la escala de análisis elegida, se podría realizar el análisis desde dos aproximaciones distintas, siguiendo el enfoque de ciclo de vida de los proyectos de obra, como si fuera un producto industrial, o bien se podría contabilizar las emisiones totales anuales de una o varias empresas del sector, como se hace en aquellas obligadas al régimen de comercio de emisiones. Los pros y contras de estos enfoques serán expuestos más adelante.

Por último hay que reseñar las dificultades que existen a la hora de conseguir fuentes de datos y metodologías válidas para este análisis. Si bien contamos con datos de Inventarios Nacionales, Estándares de Producto y estudios científicos precedentes, ninguno de ellos cubre nuestras necesidades con la precisión y adecuación suficiente, como explicaremos detalladamente en el apartado siguiente.

Muestra del interés en subsanar esta falta de datos en el tema a nivel nacional son los grandes proyectos de investigación que se han realizado por iniciativa de las empresas del ramo, como el proyecto Fénix ([www.proyectofenix.es](http://www.proyectofenix.es)), centrado en la sostenibilidad de los firmes de carreteras, o el CLEAM ([www.cleam.es](http://www.cleam.es)), que evalúa los impactos ambientales de la construcción y explotación de carreteras en su conjunto. Dentro de una de las líneas de este último proyecto se enmarca nuestro estudio.

## **1.2 Estado del arte y justificación del estudio**

Situados en el contexto general, en este apartado señalaremos las contribuciones más relevantes al estudio de las emisiones de GEI y su relación con el área de estudio, así como sus carencias y fortalezas, con el fin de argumentar la necesidad del presente estudio.

### **1.2.1 Inventarios**

La aproximación más general al problema de emisiones, pero no por ello menos válida, la constituyen los inventarios nacionales de emisiones de GEI, que se realizan a nivel estatal, con carácter periódico (anual) y que son remitidos a la Convención Marco de la ONU sobre Cambio Climático (CMNUCC) para su análisis. Estos inventarios son los que determinan las emisiones producidas en cada país, independientemente de quién sea el responsable, durante el periodo que cubren. Sirven también para evaluar el cumplimiento de los compromisos firmados en Kioto, cuando éstos existen. Tienen una resolución fina, sobre todo en sectores regulados por el comercio de derechos de emisión, pero por políticas de protección de datos solo pueden ofrecer los datos agregados en grandes categorías de actividad.

Esta forma de presentar los resultados, así como la clasificación que utilizan para ello (tablas FCI, impuestas desde la CMNUCC) implica que no se pueden obtener datos directos del sector de la obra civil, ya que las actividades de los proyectos de infraestructura vienen diseminadas en varios apartados, de índole muy general. El enfoque de estos inventarios, a pesar de ser el necesario para su función, no es válido para evaluar las actividades objeto de análisis, además de por lo razonado anteriormente, por la alta variabilidad anual de volumen de trabajo y por el hecho de que la duración de los proyectos de carreteras muy a menudo es superior a un año, que es, junto al geográfico, el criterio establecido para la realización de estos inventarios.

Para ilustrar el argumento anterior podemos detallar el caso español. El Inventario Nacional de Emisiones de GEIs, en adelante INEGEI, tiene datos desde 1990 (MARM, 2011). Si quisiéramos conocer las emisiones causadas en las actividades de construcción de infraestructuras lineales, nos encontraríamos en el inventario con que: las emisiones por consumos de energía eléctrica, sea cual fuere la actividad donde se requiere el consumo, estarían dentro del total de industrias energéticas (1.A.1); las de las calderas de las industrias de fabricación de materiales para la construcción, estarían incluidas junto a las del resto de industrias manufactureras (1.A.2); las del transporte se incluyen en un epígrafe aparte (1.A.3), en todos los casos se descuentan las emisiones fugitivas de los combustibles, que se contabilizan en otro apartado (1.B); las emisiones por descarbonatación en la fabricación del cemento y el uso de piedra caliza vienen en otro apartado (2.A); y así sucesivamente.

En cambio los Inventarios son útiles para comparar nuestros resultados con el total de emisiones y con determinadas actividades y categorías, aunque para eso haya que agrupar los datos según su criterio, que no es funcional para realizar un análisis del sector de la obra civil.

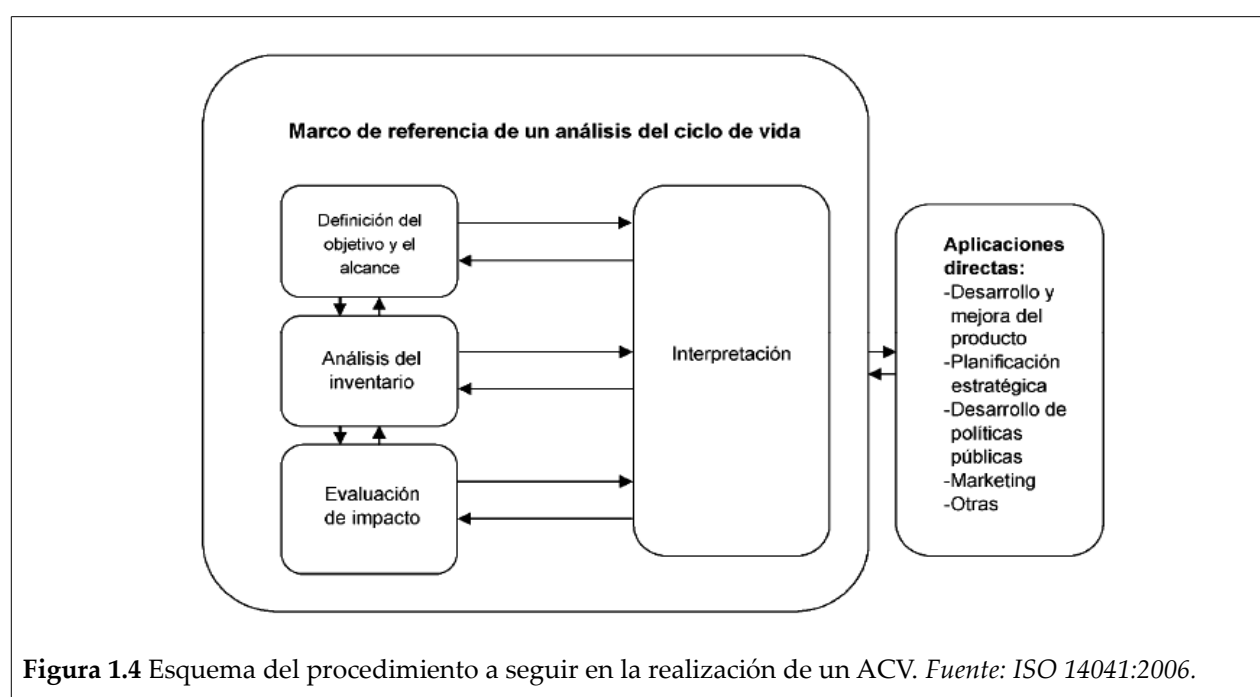
### **1.2.2 Estándares de cálculo**

Los estándares o normas voluntarias de cálculo de emisiones son una serie de reglas y recomendaciones, coherentes entre sí, que orientan para un correcto y comparable cálculo de emisiones y para la atribución de responsabilidades de las mismas.

Estos estándares nacen para ser aplicadas a escala internacional, con la diferencia de que van dirigidos a cuantificar actividades concretas, y a pesar de que pretenden cubrir todo tipo de actividades, su uso está siendo más generalizado en el ámbito empresarial, incluyéndolo dentro de políticas de responsabilidad social empresarial y marketing (Declaraciones Ambientales de Producto...). La práctica totalidad de estos estándares obligan a seguir un enfoque de Análisis de Ciclo de Vida del producto o actividad que es analizado.

Merece la pena pararse a comentar aquí algún detalle sobre el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) ya que es una metodología recogida en un estándar internacional, ISO 14040 (ISO, 2006a), y que, a pesar de no estar concebida únicamente para el análisis de GEI, sino para el conjunto de impactos ambientales, es seguida por la mayoría de estándares, herramientas y estudios de esta

materia. La característica principal de los ACV reside, como su propio nombre indica, en la inclusión de todas las etapas del producto o servicio a analizar, normalmente desde la cuna (extracción de materias primas) hasta la tumba (fin de vida). Esto requiere de una definición clara del alcance y las reglas a seguir (asignación...) y de la elaboración de un inventario exhaustivo con todos los procesos, materiales y energía que intervienen en la vida del servicio o producto a analizar, para después poder realizar una evaluación de los impactos ambientales que existen a lo largo del ciclo de vida (figura 1.4).



Hay que tener en cuenta, como característica de los ACV, que las emisiones e impactos realizados a lo largo de todo el ciclo de vida se dan agrupadas, por lo que no es posible, sólo con los resultados, saber dónde y cuándo han sido producidos, y si éstos pueden interactuar con otros impactos, no siendo, por tanto, el ACV sustituto de otros estudios ambientales (Evaluación de Riesgos Ambientales, EIA...) (Finnveden et al., 2009). Sin embargo, al tratar nosotros de evaluar las emisiones de GEI, siendo estos gases que difunden en la atmósfera, sólo nos importa el lugar y tiempo donde han sido emitidas para asignar responsabilidades.

En cuanto a los estándares dedicados a la huella de carbono, a pesar de que se han desarrollado varios, están todos muy relacionados entre sí, siendo frecuente que se basen unos en

otros. El WRI (World Resources Institute) y el WBCSD (World Business Council for Sustainable Development), ambas organizaciones estadounidenses, son los promotores del GHG Protocol, único estándar que cubre todos las posibles huellas de Carbono, tanto de productos (WRI & WBCSD, 2011a) como de organizaciones (WBCSD & WRI, 2004; WRI & WBCSD, 2011b) y de proyectos de mitigación del cambio climático (WBCSD & WRI, 2005). Además poseen bastante documentación específica para ciertos sectores conflictivos, como los cambios de uso del territorio y los proyectos de generación de energía eléctrica conectados a la red.

Los documentos del GHG Protocol han servido de base para la realización de otros estándares, como el ISO 14064, que se centra en orientaciones para el inventario de emisiones de las organizaciones y su verificación (ISO, 2006b). ISO (International Organization for Standardization) está trabajando en un nuevo estándar, el ISO 14069, que cubrirá la huella de carbono de organizaciones de todo tipo (públicas, empresas...) y su correcta comunicación. La británica BSI (British Standards Institute) recientemente ha lanzado la norma PAS 2060, que cubre este ámbito, el de la contabilización anual de emisiones por parte de una organización. La francesa ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) también tiene su propio estándar, llamado Bilan Carbone, y está basado también en la ISO 14064 y el GHG Protocol.

El otro enfoque posible, es la evaluación de productos (entendiendo como productos bienes o servicios), a lo largo de su ciclo de vida. Aquí, aparte del mencionado GHG Protocol, tenemos como más destacado el PAS 2050, del BSI. Este PAS se basa directamente en la series ISO 14040 y en directrices del IPCC (BSI et al., 2008). Presta especial atención a las emisiones de origen biogénico, y al tiempo en que las emisiones se producen dentro del ciclo de vida. Actualmente está en desarrollo una norma ISO para la huella de carbono de productos, que será denominada ISO 14067.

Todos los estándares mencionados anteriormente tienen varias cosas en común. Fueron diseñados para hallar las emisiones de fuentes que son estáticas, y tienen una actividad similar a lo largo del tiempo, como por ejemplo, oficinas, fábricas... Como hemos señalado anteriormente, el sector de la construcción de infraestructuras, por la variabilidad entre proyectos y la cantidad de agentes implicados, hace muy complicada la correcta implantación de estos estándares de medida

sin adaptación alguna. Por otro lado, ningún estándar es certificable actualmente por terceros acreditados por entidades públicas (en España, por ENAC). Si alguno de estos estándares en un futuro se hiciese certificable, las empresas del sector quizá tendrían que certificar los proyectos uno a uno, no como ocurre con otras normas, como la ISO 14001. En todo caso, aún quedan muchos aspectos que dilucidar antes de llegar a estandarizar la metodología de medición en actividades difusas.

Por todo lo dicho, podemos considerar estos estándares como una guía de buenas prácticas a la hora de realizar un análisis de los proyectos; pero sin duda, una vez planteado el análisis, su utilidad disminuye bastante, por la poca adecuación que tienen al sector y por la falta de detalle.

### **1.2.3 Herramientas y bases de datos**

Otro campo que se ha desarrollado con fuerza sobre todo en Europa es el de las herramientas de cálculo de emisiones, no sólo de GEI, sino de otros impactos ambientales, siguiendo el enfoque del llamado Análisis de Ciclo de Vida (ACV) expuesto anteriormente.

Existen un gran número de herramientas de ACV completo y de bases de datos para las mismas, algunas de ellas de gran calidad y detalle. Se pueden citar entre las más conocidas a SimaPro, de Pré Consultants, que incluye entre otras la base de datos Ecoinvent y a GaBi, de Pe International, ambas comerciales. Otra menos conocidas, de libre uso aunque más restringidas a un sector determinado son GEMIS, Plastics Europe, la de Carnegie Mellon (EEUU)...

Por otro lado, existen algunas herramientas específicas para el sector de la construcción, como DuboCalc, y PaLATE. DuboCalc es una aplicación en desarrollo holandesa, orientada para la obra civil (carreteras y diques), que calcula, como las anteriores, tanto GEIs como otros impactos ambientales (daños a la capa de ozono, toxicidad en agua, suelos...) (Schuurmans et al., 2002). PaLATE es una herramienta estadounidense en formato Excel que integra, además de los impactos ambientales, un análisis económico de los proyectos analizados (Horvath, 2004).

La gran ventaja de estas herramientas es la alta resolución que tienen, de la que se saca partido al realizar ACV de productos. Sin embargo, no están diseñadas para analizar proyectos de carreteras, demasiado complejos en su estructura para ser implementados en las herramientas de

forma intuitiva. Además las herramientas generales no permiten una clara separación de las emisiones por agentes contaminantes o por fases, al no permitir la importación de proyectos de construcción manteniendo la estructura de los mismos. Las herramientas del sector, si bien están centrándose en estos aspectos, comparten otro problema con el resto de herramientas de ACV, la carencia de datos geográficos adecuados al contexto español, fallando en uno de los principios del ACV, la exactitud o adecuación geográfica de los datos (ISO, 2006a).

En la actualidad no existe una base de datos nacional de ACV, ni de materiales ni de procesos productivos. Si bien hay una base de materiales en desarrollo por parte del ITEC (2010), que es aún muy limitada, no es posible utilizarla usando las herramientas que existen en el mercado. En la tabla 1.1 se expone una relación de bases de datos disponibles, tanto públicas como privadas. La mayor parte de las bases de datos mencionadas anteriormente a pesar de tener un ámbito geográfico global, usan datos norteamericanos o europeos, preferentemente suizos, ingleses, holandeses, alemanes o suecos que son los entornos geográficos donde esta metodología del ACV ha tenido mayor auge. Entre las bases de datos comunes existe una variación muy alta entre los valores de emisiones dados para un mismo material, de hasta un 150% (Kendall et al., 2009). Por tanto existe el riesgo de que estos datos no sean válidos para un marco geográfico como el español, con una actividad en el sector de la construcción mucho más prominente que en estos países europeos.

Podemos concluir en este apartado diciendo que las herramientas de cálculo, combinadas con una buena base de datos, son un elemento que permite un análisis muy detallado de los proyectos. Sería conveniente contar con una herramienta específica para el análisis del sector en España, que ahora mismo no existe, en aras de facilitar el análisis y comparación de diferentes tipologías de proyecto que se dan en el área de las infraestructuras. Esta herramienta debería estar acompañada de una base de datos sectorial con datos locales para una mayor exactitud.

**Tabla 1.1** Relación de bases de datos disponibles para ACVs, separando las que permiten analizar cualquier actividad o producto (llamadas “completas”) y las desarrolladas para una actividad o sector particular (sectoriales). *Fuente: GHG Protocol (2012).*

Bases de datos “completas”		Bases de datos sectoriales	
Nombre	Ámbito Geográfico	Nombre	Ámbito Geográfico
3EID	Japan	Biomass Environmental Assessment Tool (BEAT)	UK
Athena Institute	USA, Canada	Boustead Model	Global
Australia Department of Climate Change	Global	Building Research Establishment (BRE)	UK
Australian National Life Cycle Inventory Database	Australia	Canadian Raw Materials Database	Canada
Bath Inventory of Carbon and Energy (ICE)	UK	Carbon Calculations over the Life Cycle of Industrial Activities (CCaLC)	Global
Bilan CarboneTM	Europa	Centre for Environmental Assessment of Product and Material Systems (CPM) Chalmers	Global
BUWAL 250 LibraryTM	Suiza	Danish Food LCA	Dinamarca
Centre for Sustainability Accounting (CenSA)	UK	European Aluminum Association (EAA)	Europa
Climate Earth Inc.	USA	European Container Glass Association (CGA)	Europa
Data for Environmental Analsys and Management (DEAM)	Europa	European Copper Institute (ECI)	Europa
Defra	Global	European Federation of Corrugated Board Manufacturers (FEFCO)	Europa
E3IOT	Europa	Global Emission Model for Integrated Systems (GEMIS)	Global
Ecoinvent	Global	International Energy Agency (IEA) GHG Programme	Global
EIME (Environmental Improvement Made Easy)	Europa	International Iron and Steel Institute (IISI)	Global
ELCD	Europa	International Stainless Steel Federation (ISSF)	Global
Environmental Product Declarations (EPD)	Global	International Tin Research Institute (ITRI)	Global
ESU Services	Europa	International Zinc Association (IZA)	Global
ESU-ETH 96	Global	National Renewable Energy Laboratory (NREL) Life Cycle Inventory (LCI)	Global
Footprint Expert	Global	Nickel Institute (NI)	Global
Franklin US LCI	USA	Plastics Europe	Europa
Greenhouse Gas Protocol	Global	Swiss Agricultural Life Cycle Assessment (SALCA)	Suiza
Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy use in Transportation (GREET)	USA		
iLCA2010+	Global		
Inventory Database for Environmental Analysis	Global		
IPCC Emissions Factor Database	Global		
IVAM	Global		
Korea Life Cycle Inventory (LCI) Database	Corea		
OPEN IO	USA		
ProBas (Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente)	USA, Canada		

#### 1.2.4 Estudios de caso

Sin duda una de las contribuciones más importantes al conocimiento de este campo son los estudios concretos realizados en esta área. Sin embargo, no son muy abundantes los estudios que consideran proyectos enteros frente a los que se centran en un material o estructura concreto



(Ortiz, Castells, & Sonnemann, 2009). En el caso de las carreteras son numerosos los estudios acerca de firmes. A continuación señalaremos los más relevantes.

Los primeros estudios sobre el ACV de firmes (Athena Institute, 2006; Nisbet et al., 2000) fueron patrocinados por asociaciones de la industria, en especial la del cemento. Este hecho, según algunos autores (Santero et al., 2011a), resta fuerza a las conclusiones, especialmente si establecen comparaciones, con respecto a las del resto de literatura científica revisada por pares. Los estudios anteriormente citados se centran en comparar los dos materiales principales con los que se realizan los firmes, el hormigón y el asfalto, analizando su fabricación, la construcción del firme y la conservación. Otros estudios posteriores se han centrado en operaciones de la construcción determinadas, como la conservación y reconstrucción de firmes (Weiland & Muench, 2010), ofreciendo varios escenarios posibles.

Pero quizás el artículo de White et al. (2010) sea el más completo de este conjunto. Aparte de analizar cuatro tipos de firmes según el material usado, tuvieron en cuenta siete escenarios (variando espesuras de capas, tráfico que soportan y vida útil) y además realizaron análisis de sensibilidad (White et al., 2010).

El primer estudio completo sobre el ACV de un proyecto de construcción de carreteras se lo debemos a Stripple (2001), el cual aún es la referencia obligada en este ámbito. Realiza un exhaustivo inventario, con especial atención a la maquinaria y a las actuaciones propias de los proyectos de carreteras. Además, es de los pocos que ha evaluado diferentes escenarios y que publica los resultados por gases separados, en vez de agrupados en CO<sub>2</sub>e.

Otro estudio que ha tenido bastante impacto fue el encargado por la FNRA, que fue el primero en considerar como impacto el cambio de uso de territorio, aunque no lo relacionaban con cambios en las emisiones de GEIs (Mroueh et al., 2000). El único estudio hasta la fecha que ha incorporado las emisiones por cambios de uso de territorio ha sido el de Melanta (2012). En la pasada década aparecieron estudios que incluyeron en sus análisis el desmantelamiento y reciclaje de materiales (Park et al., 2003), el uso de residuos reciclados como materia prima (Birgisdóttir et al., 2006; Milachowski et al., 2010), el impacto sobre el tráfico de las actividades de reparación de

firmes (Huang et al., 2009a), o incluso tomaron el propio tráfico dentro del análisis (Treloar et al., 2004).

La mayor parte de los estudios han tomado uno o varios proyectos bastante genéricos y representativos como objeto de su análisis, para después poder sacar conclusiones aplicables al conjunto del sector. También se ha dado el caso contrario, aplicando el ACV a un proyecto concreto, sin más pretensiones, como ocurrió en Grecia (NTUA, 2006). Pero el estudio que mejor ha conseguido dar una visión general del sector, en este caso en California, partiendo del análisis de tipologías concretas de obra (autopistas, carreteras convencionales etc) es la tesis de Loijos (2011). Tiene en cuenta todas las fases del ciclo de vida, restringiéndose a los impactos sobre el cambio climático, pero teniendo en cuenta otros aspectos poco estudiados como el cambio en el forzamiento radiativo (por cambios en el albedo) según los materiales usados en el firme (Loijos, 2011). Sin embargo, su análisis no contempla los movimientos de tierra y sus impactos asociados, que, a la vista de otros autores (Mroueh et al., 2000; Stripple, 2001) son responsables de un porcentaje alto del total de emisiones.

Para concluir en el repaso de los estudios del tema, queda nombrar los que han hecho aproximaciones desde una visión más de conjunto, sin tener en cuenta el enfoque de proyectos. Así, tenemos que en China recientemente se ha dimensionado la importancia del sector de la construcción mediante un ACV de tipo input-output económico (Chang et al., 2010). Aquí en España, la única aproximación hasta el momento la han realizado Garraín y Vidal (2008) que han tomado unos datos genéricos de materiales y maquinaria necesaria por metro de carretera, teniendo sólo en cuenta la estructura del firme, y extrapolando con datos del Ministerio de Fomento han estimado unas emisiones generales de las actividades de construcción de carreteras entre 2004 y 2006 (Garraín & Vidal, 2008). Este análisis, aunque muy incompleto y realizado mediante una herramienta sin datos nacionales (con medias europeas), puede ser una referencia en la que comparar resultados.

A continuación se expone una tabla con características generales de los estudios citados anteriormente (tabla 1.2). En ella, aparte de la escala de análisis de cada estudio, se señala el tipo de ACV. Puede apreciarse que predominan los estudios que tienen en cuenta los procesos implicados

en el ciclo de vida, frente a los que toman datos de macroescala para caracterizar el problema de análisis (Input-Output) y a los que combinan ambas aproximaciones (híbridos).

**Tabla 1.2** Resumen de características generales de los estudios de ACV de carreteras. *Elaboración propia.*

Autores	Año	País	Tipo de ACV			Escala del análisis		
			Procesos	Híbrido	Input/ Output	Materiales de la calzada	Proyectos de carretera	Sector de la construcción
Mrueh et al.	2000	Finlandia	•				•	
Stripple	2001	Suecia	•				•	
Nisbet et al.	2000	USA	•			•		
Park	2003	Corea		•			•	
Treloar	2004	Australia		•			•	
Athena	2006	Canadá	•			•		
Birgisdóttir et al.	2006	Dinamarca	•				•	
NTUA	2006	Grecia	•				•	
Garraín & Vidal	2008	España			•			•
Huang et al.	2009a	UK	•				•	
Huang et al.	2009b	UK	•				•	
Chang et al.	2010	China			•			•
White et al.	2010	USA	•			•		
Weiland & Muench	2010	USA	•			•		
Milachowski et al.	2011	Alemania	•				•	
Loijos	2011	USA	•				•	
Cass & Mukherjee	2011	USA		•			•	
Huang et al.	2012	UK India	•				•	
Melanta	2012	USA	•				•	

### 1.2.5 Síntesis de la revisión

Para concluir esta introducción, y resumiendo todo este apartado de estado del arte en la materia, se aporta, en la tabla 1.3, las fortalezas y debilidades de los enfoques tratados anteriormente (inventarios, estándares, herramientas y estudios).

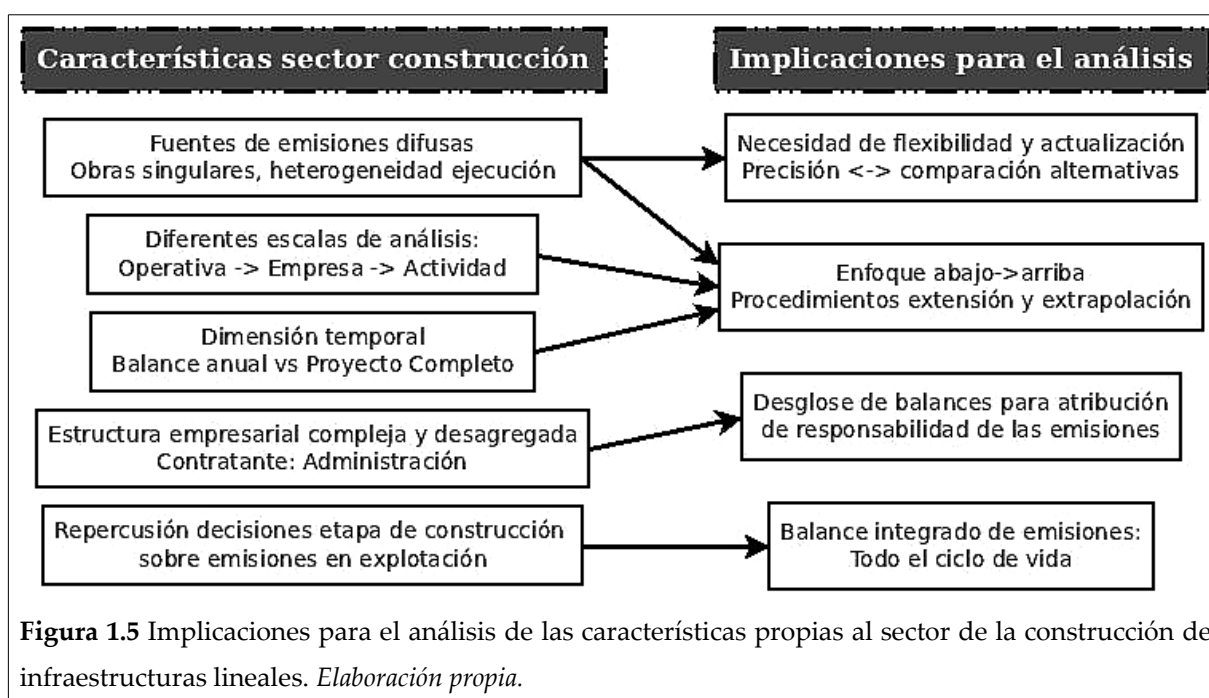
**Tabla 1.3** Fortalezas y debilidades de las aproximaciones al análisis de emisiones de GEIs en el sector de la obra civil. *Elaboración propia.*

	Fortalezas	Debilidades
<b>Inventarios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metodología estandarizada para la toma de datos.</li> <li>- Serie de datos amplia y nacional.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baja resolución (escala sectorial, amplia), enfoque anual.</li> <li>- Por su estructura, imposibilidad para establecer emisiones ligadas a la construcción.</li> </ul>
<b>Estándares</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reglas básicas para:               <ul style="list-style-type: none"> <li>→ evaluar productos y empresas.</li> <li>→ establecer una primera asignación de responsables.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de adecuación al sector de la construcción, donde actúan un gran número de agentes, hay fuentes difusas, singularidad de los proyectos...</li> </ul>
<b>Herramientas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exhaustividad y coherencia.</li> <li>- Gran nivel de detalle según BBDD.</li> <li>- Posibilidad de integración de datos a nivel de proyecto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No existe una base de datos nacional.</li> <li>- No se asignan responsables.</li> <li>- Implementar proyectos es muy complejo.</li> </ul>
<b>Estudios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gran nivel de detalle.</li> <li>- Abundancia de datos primarios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poca representatividad del sector en España.</li> <li>- Alcance incompleto en muchos casos.</li> </ul>

A la vista de las aportaciones sobre el tema sería conveniente, para la mejor evaluación del sector en España, un enfoque que aunara la toma de datos nacionales, completando una base de datos nacional que a día de hoy no existe, con una evaluación más exhaustiva de los proyectos realizados. Se debería incluir, aparte de todas las etapas del ciclo de vida de las carreteras, otros aspectos normalmente infravalorados o no considerados, como por ejemplo las emisiones asociadas al cambio de uso de tierra y destrucción de elementos naturales, así como a su reposición (repoblaciones de taludes...). Santero et al (2011a) en su review también recomiendan la realización de análisis de sensibilidad y considerar la influencia de elementos que varían con la localización de las obras (mixes de electricidad, distancias de transporte...). Los mismos autores, en una publicación posterior (Santero et al., 2011b) identifican otros aspectos no incluidos en estudios anteriores, como la carbonatación de los firmes y estructuras de hormigón, aspecto ampliamente estudiado, incluso en España (Galán et al., 2008), o las diferentes necesidades de iluminación según el tipo de firme, o el efecto del cambio en el albedo, cuestiones que sería interesante incorporar a un futuro análisis.

Para abordar este análisis se puede partir de dos planteamientos: analizar los proyectos uno a uno y extrapolar como se hace en alguno de los estudios (Loijos, 2011; Strippel, 2001), o bien incorporar una evaluación a nivel de empresas, evaluando la actividad de un año completo, como hacen los inventarios nacionales o las empresas que por obligación participan en el comercio de emisiones. Las particularidades del sector (figura 1.5), donde los proyectos suelen durar más de un año, son ejecutados por multitud de empresas y existen grandes diferencias en el volumen de trabajo entre anualidades, complican esta decisión. Sin embargo, los recelos de las empresas a difundir información detallada de su actividad, decantan la balanza hacia la evaluación de proyectos, ya que es más fácil obtener la información y extrapolar resultados a este nivel. No obstante, dentro de los proyectos sigue siendo necesario determinar claramente cuántas emisiones se atribuyen a cada agente implicado (empresas constructoras, administraciones, fabricantes de materiales...), para poder establecer, con la ayuda de alguno de los estándares, la responsabilidad de las emisiones, dato muy útil para la gestión del problema.

Por todo lo anterior, se hace necesario que el enfoque de este estudio para caracterizar el sector sea flexible, de ACV, y de abajo hacia arriba, es decir, desde proyectos concretos hacia una caracterización de la actividad anual del conjunto del sector, sin perder de vista la atribución de responsabilidades.



### **1.3 Objetivos**

Formalmente, el presente trabajo tiene como objetivo general analizar la problemática de las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector de la construcción de carreteras en España. Este análisis abarca el ciclo de vida de los proyectos, y pretende proporcionar un conocimiento funcional y operativo de los procesos implicados que permita:

- Identificar los principales componentes del sistema, cuantificando y valorando de forma contextualizada la importancia de su contribución al balance final de emisiones.
- Proporcionar una evaluación ambiental, en la categoría de cambio climático, de los proyectos de carreteras en su ciclo de vida.
- Llevar a cabo la asignación de las diferentes emisiones a los diversos agentes implicados en los proyectos de carreteras, mediante la aplicación de un protocolo contrastado de atribución de responsabilidades.
- La valoración comparativa de alternativas en el diseño de los proyectos, así como del alcance relativo de las posibles actuaciones que puedan formularse para la gestión del problema, con el fin de apoyar, con criterios objetivos, la toma de decisiones.

Con respecto a la aproximación metodológica que permita dar respuesta a tales objetivos, se considera necesario el desarrollo de una herramienta informática que haga factible gestionar la complejidad de componentes y dimensiones de este análisis.

### **1.4 Alcance y unidad funcional**

#### **1.4.1 Unidad funcional**

Las actividades de la construcción de carreteras, como comentamos anteriormente (figura 1.5), tienen una alta complejidad de cara a un análisis riguroso. Nuestro “sistema de producto” para hablar en términos de ACV sería el nivel de proyectos de construcción y mantenimiento de carreteras, que es la única escala que, conteniendo todas las actividades del ciclo de vida, da una

flexibilidad suficiente al análisis para no perder precisión en los resultados. Además se puede establecer *a posteriori* una extrapolación al conjunto de los proyectos ejecutados en nuestro país para completar el análisis del sector. La función desempeñada por este sistema de producto es obvia, permitir la circulación de tráfico rodado en unas condiciones determinadas por el tipo de proyecto.

La unidad funcional de nuestro estudio sería el km de carretera, que sería la forma de hacer comparable los resultados de los proyectos analizados. De todas formas, dadas las diferencias entre los proyectos tomados como ejemplos, con los que se intentará cubrir diversos tipos de obras, se van a dar también los resultados por proyectos, para dar una idea más completa de los mismos. Dentro de estos proyectos se van a evaluar distintas alternativas y actuaciones, con lo que se espera que el análisis obtenga una mayor profundidad. Muestra de este interés por dotar de una mayor resolución al análisis es el desglose de los resultados, donde se va a poder bajar a nivel de partidas de proyecto, pudiéndose obtener resultados por gases, agentes responsables etc.

### 1.4.2 Alcance

Sobre las etapas incluidas y el alcance del análisis, lo primero que se tomó como referencia fueron los estudios anteriores al presente que contemplaban proyectos de carretera, comentados en el apartado 1.2. Las fases del ciclo de vida analizadas por estos estudios, así como otros aspectos considerados relevantes para el análisis por otros autores como Santero et al (2011b), se detallan en la tabla 1.4.

Como se puede observar, los estudios mencionados no contemplan todas las fases del ciclo de vida, ni todos los aspectos que hemos destacado en el cuadro. Las implicaciones de este hecho en los resultados se discutirán en el apartado correspondiente, más adelante. De momento, a la hora de definir nuestro alcance, hemos considerado todas las etapas y subetapas del ciclo de vida de la infraestructura, enumerados en la tabla 1.4, exceptuando el desmantelamiento de la carretera. La etapa de desmantelamiento de la carretera no ha sido considerada por no ser una práctica nada corriente en España, donde por lo general las nuevas carreteras son construidas sobre el trazado anterior, y si éste se varía la carretera vieja no es eliminada, usándose como vía auxiliar para el tráfico agrícola, local o para el acceso a fincas.

**Tabla 1.4** Alcance considerado por los estudios de proyectos de carreteras. *Elaboración propia.*

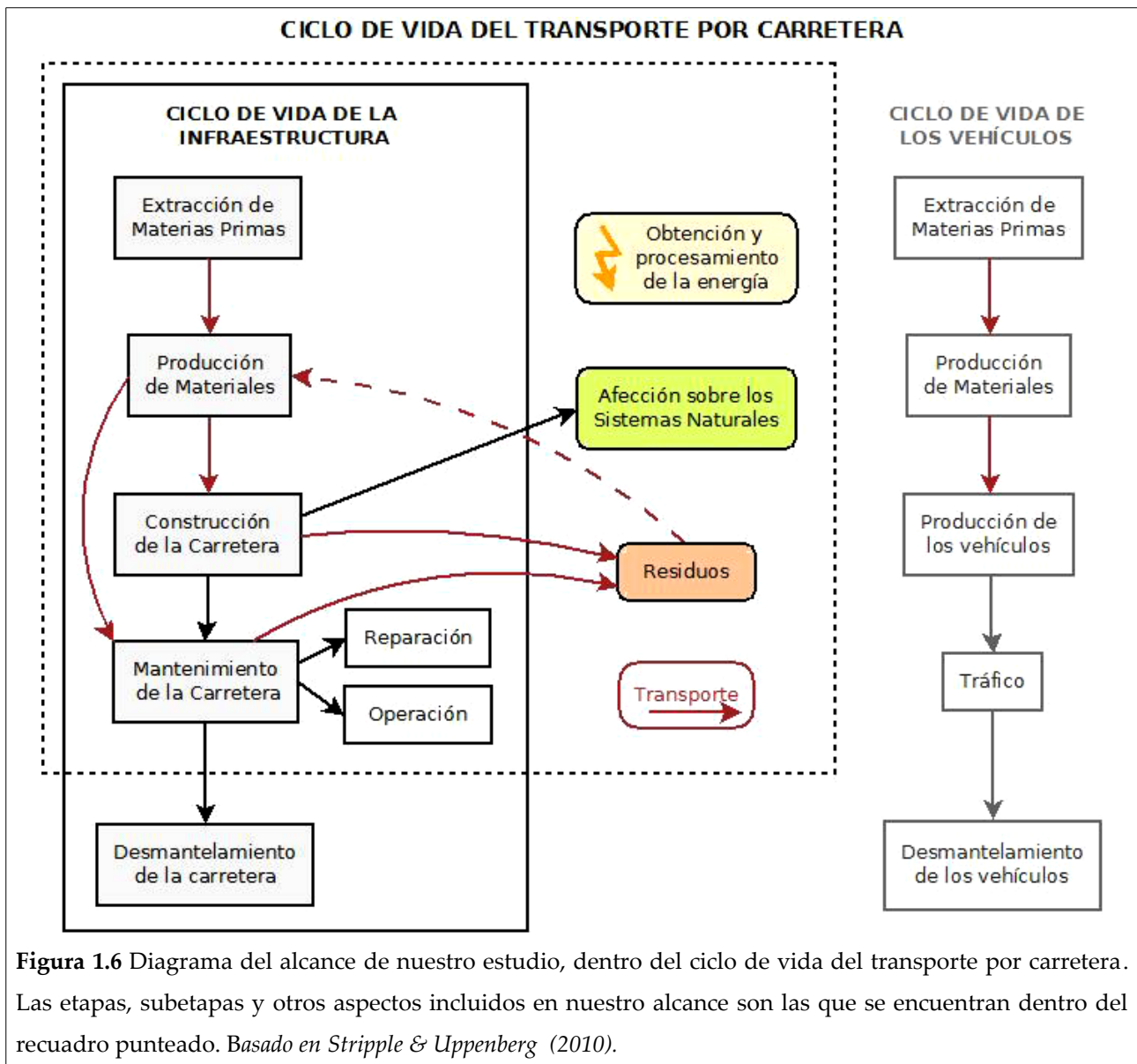
Autores	Año	Etapas del Ciclo de Vida de la Infraestructura							Ciclo de Vida de Vehículos	
		Producción de materiales		Transporte	Construcción		Mantenimiento		Fin de vida	
		Del firme	Otros		Mov. de tierras	Calzada	Operación	Reparación		Tráfico
Mroueh et al.	2000	•		•	•	•		•		
Strippel	2001	•	•	•	•	•	•	•		
Nisbet et al.	2000	•		•		•				
Park	2003	•	•	•	•	•	•	•	•	
Treloar et al.	2004	•				•	•			•
Athena	2006	•		•		•		•		
Birgisdóttir et al.	2006	•	•	•	•	•	•	•		
NTUA	2006	•		•	•	•	•	•		
Garraín & Vidal	2008	•		•		•				•
Huang et al.	2009a	•		•				•	•	•
Huang et al.	2009b	•		•		•	•	•		
Chang et al.	2010									
White et al.	2010	•		•		•				
Weiland & Muench	2010	•		•				•		
Milachowski et al.	2011	•		•	•	•		•		•
Loijos	2011	•		•		•	•	•	•	•
Cass & Mukherjee	2011	•		•	•	•				
Huang et al.	2012	•		•	•	•		•		•
Melanta et al.	2012	•		•	•	•				

Otros estudios han añadido dentro de su alcance el tráfico, para abarcar el ciclo de vida del transporte por carretera al completo, que según Strippel & Uppenberg (2010), está formado por el ciclo de vida de la infraestructura más el de los vehículos que circulan por ella. Dentro del ACV de un vehículo, la fase de uso (tráfico) es la más importante (Treloar et al., 2004), y la más relacionada con la infraestructura, por lo que el resto de fases han sido obviadas por otros estudios (Garraín & Vidal, 2008; Huang et al., 2009a; Milachowski et al., 2011 etc). Elaborar un modelo de tráfico lo suficientemente completo y preciso es una labor que excede con creces el tiempo y los medios disponibles para este estudio, por lo que nos remitiremos únicamente al ACV de la infraestructura, y no del transporte por carretera. No obstante, según múltiples autores (Garraín & Vidal, 2008; Milachowski et al., 2010; Treloar et al., 2004) el tráfico tiene un alto impacto sobre las emisiones totales del transporte por carretera. Por tanto, dado que se dispone de datos de un modelo de



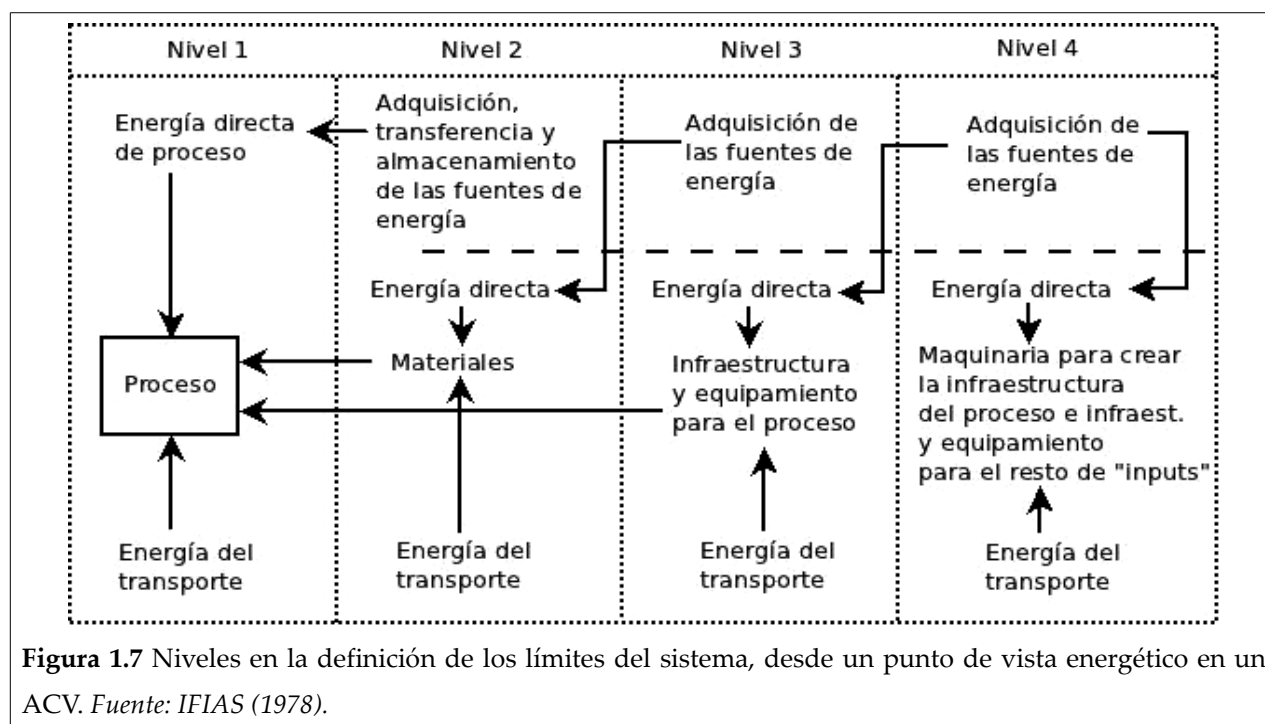
tráfico, desarrollado por Barandica (2010) para uno de los proyectos analizados, se expondrán de manera ilustrativa para dar una idea del ciclo de vida del transporte por carretera.

Para ilustrar el alcance de nuestro estudio, se ha elaborado un esquema general de las etapas consideradas, detallado en la figura 1.6.



Los límites del sistema vienen impuestos por las etapas y aspectos objeto de análisis. Dentro de estas etapas el nivel de detalle ha sido el más amplio posible dentro de las aportaciones relevantes. En la figura 1.7 se muestran los niveles de detalle en el análisis desde un punto de vista energético de los procesos, según la International Federation of Institutes for Advanced Studies

(IFIAS, 1978). Este organismo recomendó que “todos los procesos fueran analizados hasta el nivel en que la contribución del nuevo nivel fuera comparable a las incertidumbres asumidas en los anteriores”. Seguir esta recomendación implica detener el análisis en el nivel 2, que la IFIAS ya asume como adecuado en muchas ocasiones, o, a lo sumo, en el 3. Este criterio es el que se ha utilizado, por lo que toda la maquinaria, los materiales y los procesos han sido analizados al menos hasta el nivel 2, incluyendo el nivel 3 para la energía eléctrica, por la importancia relativa de las emisiones asociadas al tercer nivel en varias fuentes (renovables y nuclear).



Por tanto, siguiendo estas pautas, se han considerado tanto las emisiones “aguas arriba” de los materiales, distinguiendo emisiones en la llamada “fase de preproducción”, es decir, la adquisición, procesamiento y transporte de las materias primas o materiales que son necesarios para su fabricación, y la fase de producción de los materiales que finalmente son usados en la obra. También se han incluido las emisiones “aguas arriba” de los combustibles (agrupadas en la llamada fase de precombustión) por estar encuadradas en los niveles analizados (2 y 3). No se ha considerado la fabricación de la maquinaria, por estar situada en el nivel 4 según el IFIAS (1978), y no resultar relevante.

Geográficamente, el ámbito de este estudio se restringe en un principio al territorio español, si bien completando en unos pocos aspectos la base de datos podrían extrapolarse al conjunto de países europeos, al ser las prácticas en el sector muy similares. El límite temporal del análisis coincidiría con la vida útil de la infraestructura, que se ha supuesto en 50 años. Este es un valor idéntico al que toman otros estudios (Athena Institute, 2006; Mroueh et al., 2000; NTUA, 2006; Weiland & Muench, 2010) y bastante razonable dadas las actividades de mantenimiento programadas.

En cuanto a las categorías de impacto seleccionadas para este estudio nos hemos restringido a evaluar el efecto sobre el cambio climático de los proyectos de construcción. Se ha valorado también la inclusión de la energía primaria dentro de este análisis para poder sacar conclusiones más profundas, pero se ha descartado por falta de datos para algunos componentes de la base de datos. Dentro de la categoría cambio climático, se han tomado como gases a analizar el CO<sub>2</sub>, el CH<sub>4</sub>, y N<sub>2</sub>O. No obstante, en procesos donde es significativa la contribución de otros gases, como el SF<sub>6</sub>, CHF<sub>3</sub>, CF<sub>4</sub> y C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, como por ejemplo, el caso de los dos últimos en la fabricación de aluminio primario, han sido contabilizados también, como recomiendan los organismos nacionales e internacionales (IPCC, 2007; MARM, 2011).

### **1.4.3 Consideraciones metodológicas del alcance**

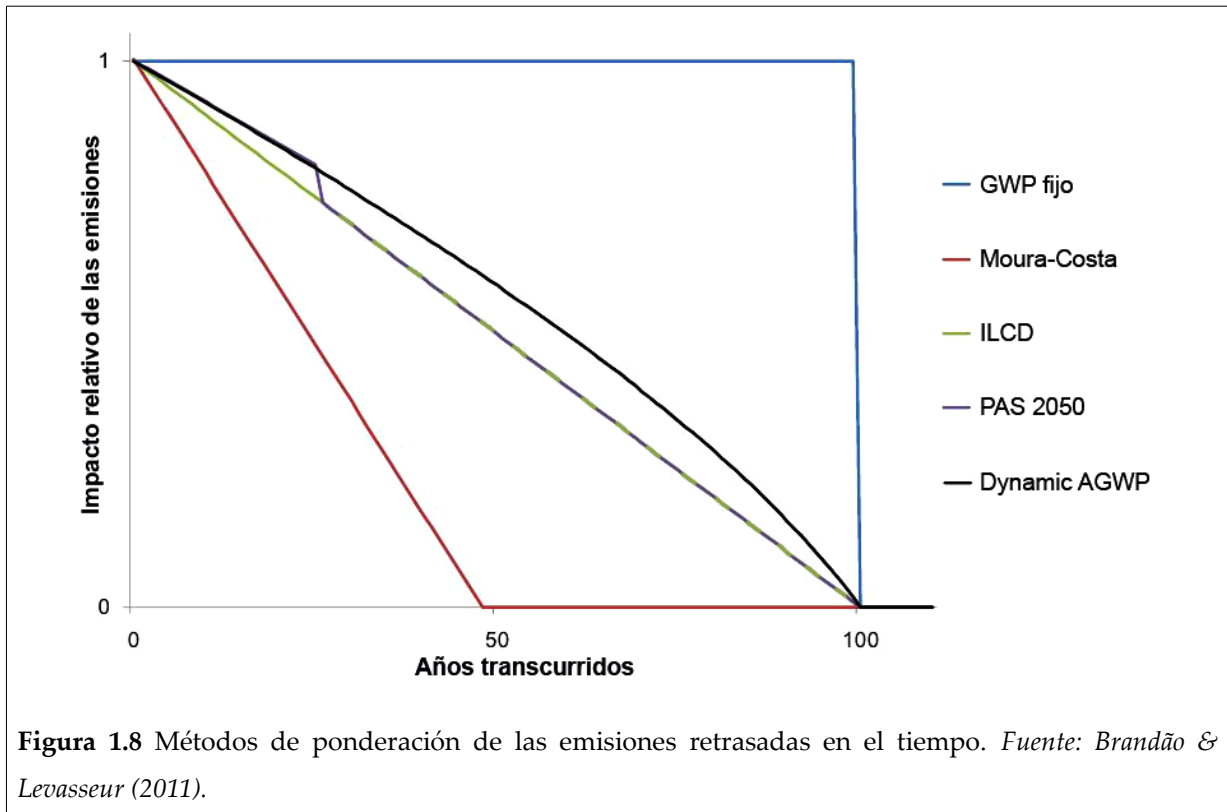
La metodología que se ha seguido para evaluar este impacto es la del IPCC (IPCC, 2007) hallando el potencial de calentamiento global en un horizonte de 100 años (GWP<sub>100</sub>), si bien esta metodología está siendo objeto de discusión en la comunidad científica (Brandão & Levasseur, 2011), sobre todo en la forma de considerar dos aspectos fundamentales para este estudio, el GWP<sub>100</sub> derivado de la remoción, las captaciones por crecimiento, y el secuestro de CO<sub>2</sub> de la biomasa y el tratamiento de las emisiones que se dan con retraso sobre el punto de inicio de la actividad.

El análisis de un impacto en base a un horizonte temporal es una práctica nada común en los ACV, donde el resto de impactos se cuantifican como un número total de emisiones. Sin embargo, dada la diferente vida media de los GEIs en la atmósfera, la mejor forma hallada en su día por el IPCC para unificar el GWP de los diferentes gases en una única medida es integrar el efecto que

tienen en la atmósfera durante los primeros 100 años de su estancia. En el fondo, es también una forma de repercutir el impacto sobre una fecha límite relativamente cercana en el tiempo para ayudar en la concienciación del problema. Este horizonte implica una serie de problemas a la hora de evaluar ciertos proyectos, como el ACV de carreteras, donde se producen emisiones muchos años más tarde de la construcción inicial (sobre todo en la etapa de uso), que a juicio de muchos autores, entre ellos los redactantes del PAS 2050 (BSI et al., 2008), no deben tener el mismo peso que las emisiones en año 0, puesto que su permanencia en la atmósfera a lo largo del periodo de evaluación es menor de los 100 años que cubre dicho periodo.

Sobre la manera de ponderar el peso de las emisiones retardadas han surgido diferentes métodos, recogidos en la figura 1.8. Actualmente todos los estudios publicados en el tema siguen el método de GWP fijo, donde todas las emisiones dentro del horizonte de 100 años tienen el mismo valor. Este método es también recomendado en términos generales por la ILCD (Brandão & Levasseur, 2011), a pesar de que han desarrollado uno propio para los casos en que sea necesario. El método de GWP fijo ha sido fuertemente criticado por Kendall et al. (2009) al poder influir la metodología en los resultados de ACV si se comparan materiales con distinta necesidad de mantenimiento, como el caso de los firmes. Esta misma autora ha elaborado un método basado en el del ILCD, llamado TAWP, que pondera a lo largo del tiempo no solo el GWP del CO<sub>2</sub>, sino también de los principales GEIs, que tienen comportamiento diferente a éste último (Kendall, 2012). Éste método es fácil de implementar gracias a una calculadora excel suministrada por la misma autora. Por ello, hemos considerado interesante incorporar esta evaluación ponderada, siguiendo el método TAWP, en uno de los escenarios, optando por dar los resultados generales siguiendo el GWP fijo para una mejor comparación con otros estudios.

Por otro lado, otro de los puntos conflictivos es la evaluación de las emisiones y captaciones provenientes de la materia orgánica, también llamadas biogénicas. Las emisiones biogénicas provenientes del uso de biomasa o biodiesel como combustible no deben contabilizarse según los estándares más usados, al suponerse que volverán a ser captadas más adelante. Sin embargo, según estos mismos estándares, se deben contabilizar las emisiones generadas por cambios permanentes en el uso de la tierra, o las captadas por repoblaciones plantadas y manejadas con el fin de secuestrar CO<sub>2</sub>. Si bien es evidente que las emisiones biogénicas no se deberían tratar como



las de origen fósil, esta forma de actuar es en parte, contradictoria. Por eso, ya hay varias aproximaciones para un mejor recuento (Cherubini et al., 2011), de forma que se pueda traducir el efecto del secuestro o liberación de CO<sub>2</sub> biogénico en términos de GWP al uso.

Nosotros vamos a seguir las recomendaciones de los estándares actuales, contabilizando las emisiones provocadas por el cambio de uso de tierra, así como las captaciones de las repoblaciones efectuadas como parte de la restauración paisajística, dado que, a pesar de no estar dirigidas específicamente a la captura y secuestro de CO<sub>2</sub>, su objetivo es paliar y compensar en la medida de lo posible los impactos ambientales, y entendemos que las emisiones de GEIs es uno de esos impactos. En el cálculo se consideran las superficies directamente afectadas, es decir, solo se tiene en cuenta las superficies afectadas permanentemente (las que quedan cubiertas por estructuras) así como las afectadas temporalmente (áreas auxiliares) por las actividades de construcción y mantenimiento. Quedan fuera del alcance los cambios de uso de tierra indirectos (producidos “aguas arriba” de la fase de construcción) por falta de datos fiables y por la escasa magnitud de las mismas sobre el total (Mroueh et al., 2000).

El impacto de los materiales y elementos reciclados, así como el uso de préstamos de la obra han sido asignados siguiendo el estándar británico PAS 2050 que, en su anexo D “Calculation of emissions arising from recyclable material inputs” (BSI et al., 2008) ofrece una formulación para el cálculo del factor de emisión de un producto input y el residuo output del proyecto según el porcentaje en reciclados que contiene un determinado producto y los residuos que genera.

$$\text{Emission / unit} = (1 - R_1) \times E_v + (R_1 \times E_R) + (1 - R_2) \times E_D$$

Siendo:

$R_1$  = proporción de material reciclado input

$R_2$  = proporción del material que es reciclado al finalizar su vida útil

$E_R$  = emisiones del material reciclado input por unidad de material

$E_v$  = emisiones del material virgen input por unidad de material

$E_D$  = emisiones del tratamiento del residuo por unidad de material

La asignación de la responsabilidad de cada una de las emisiones a lo largo del proyecto será tratada en el capítulo correspondiente.

#### 1.4.4 Calidad de los datos

Los datos de materiales, combustibles, consumos de maquinaria, y otras emisiones utilizados en el análisis han sido tomados de otras fuentes, por tanto se trata de datos secundarios. Todos estos datos provienen de ACVs o de fuentes oficiales, primándose los publicados en revistas indexadas, los que geográficamente fueran más representativos (si no es posible el dato nacional se ha usado el europeo) y por supuesto, los más actuales frente al resto. Se ha intentado obtener datos con los GEIs desglosados (al menos en CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) para poder establecer los balances particulares de cada gas. Para un mayor detalle sobre la información utilizada véase el capítulo 2. Los datos relativos a las actividades de construcción en sí de cada proyecto, han sido tomados de los proyectos reales, realizados en los últimos años, por lo que reflejan las características actuales de los proyectos en España.

## 2 Análisis de la Información

En este capítulo se tratará de dar una visión de conjunto y en detalle de la información disponible que ha sido usada en los cálculos. Antes de comenzar a desglosar los diferentes grupos de elementos de los que es necesario recopilar datos, creemos conveniente explicar la estructura relacional que los agrupa, el proyecto de obra.

Para ejecutar la construcción de cualquier carretera, es necesario realizar una serie de estudios previos. Según la ley de Carreteras 25/1988 (España, 1988), los estudios de carreteras que en cada caso requiera la ejecución de una obra se adaptarán a los siguientes tipos, establecidos en razón a su finalidad:

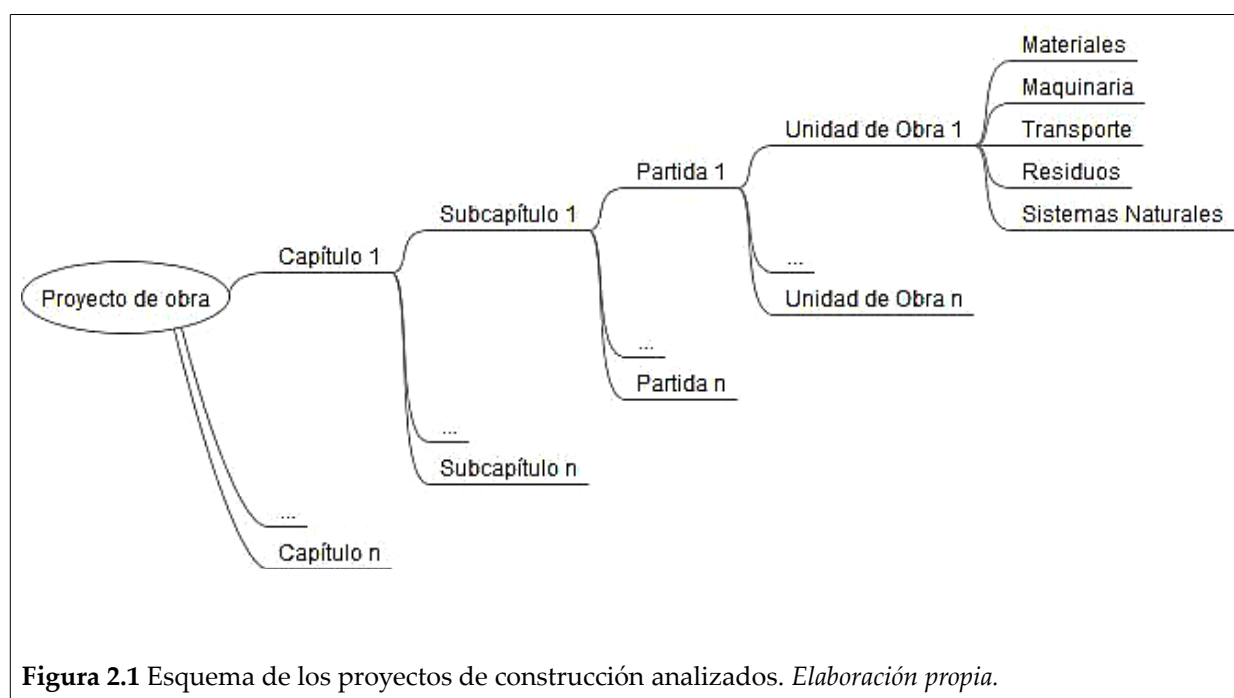
- **Estudios de planeamiento:** supone definición de un esquema vial en un determinado año horizonte, así como de sus características y dimensiones recomendables, necesidades de suelo y otras limitaciones, a la vista del planeamiento territorial y del transporte.
- **Estudio previo:** recopilación y análisis de los datos necesarios para definir en líneas generales las diferentes soluciones de un determinado problema, valorando todos sus efectos.
- **Estudio informativo:** definición, en líneas generales, del trazado de la carretera, a efectos de que pueda servir de base al expediente de información pública que se incoe en su caso.
- **Anteproyecto:** estudio a escala adecuada y consiguiente evaluación de las mejores soluciones al problema planteado, de forma que pueda concretarse la solución óptima.

En la práctica, estos primeros 4 estudios se integran en un **Estudio Informativo** (con diferentes fases), que analiza posibles corredores, después posibles alternativas de trazado, evaluación de impacto ambiental, y se elige una sola opción de trazado para desarrollar completamente el proyecto de construcción.

- **Proyecto de construcción:** desarrollo completo de la solución óptima, con el detalle necesario para hacer factible su construcción y posterior explotación. Dentro del mismo se encuentra el **proyecto de trazado**, que es el documento que contiene los aspectos geométricos del mismo, así como la definición concreta de los bienes y derechos afectados.

Es importante remarcar que nuestra herramienta evalúa las emisiones sobre el proyecto de construcción de la carreteras, que es el estudio más exhaustivo, pero uno de los objetivos principales es ayudar en la toma de decisiones para mejorar en lo posible tanto el proyecto de construcción como la ejecución misma de la carretera.

Los proyectos de construcción, mantenimiento y explotación de carreteras (en adelante proyectos de obra) están normalmente divididos, según las actividades que se proyectan, en diferentes categorías. Las actividades se ordenan jerárquicamente en una estructura basada en unidades de obra, que se agrupan en partidas, estas en subcapítulo y estos a su vez en capítulos (figura 2.1).



Las unidades de obra son la base de cualquier proyecto, siendo la unidad mínima de análisis de precios y mediciones. Una unidad de obra comprende todo lo necesario para desarrollar una actividad concreta y específica. La unidad de obra no tiene una estructura fija, sino que su composición es arbitraria y depende de la actividad a realizar. Toda unidad de obra posee una unidad de medición (de volumen, superficie, masa...) adecuada a la actividad a realizar. Los componentes de una unidad de obra pueden ser de varios tipos, los más usuales sería materiales, maquinaria, mano de obra, residuos, y transporte; al los que se van a añadir los sistemas ambientales en éste estudio. La mano de obra utilizada no va a ser computada en el análisis, como



es habitual en los ACV, por tener poca relevancia sobre las emisiones. No toda unidad de obra tiene por qué tener todos los componentes enumerados anteriormente.

Los componentes de la unidad de obra están definidos por unidad de medición de la misma. Por ejemplo, para extender 1 m<sup>3</sup> de zahorra artificial como capa granular del firme, es necesario el equivalente a 0,004 horas de uso de una Cargadora sobre ruedas, 0,00013 horas de uso de un compactador de pata de cabra, 1,7 toneladas de grava natural y 0,146 km recorridos por un camión dumper para su transporte en obra. A cada unidad de obra se le asigna una medición, esto es, las veces que es necesaria repetir la unidad de medición para realizar el total de la actividad. En el caso anterior, las cifras anteriores se deberían multiplicar por los 97 455 m<sup>3</sup> de zahorra artificial necesarios en el proyecto para obtener las cantidades de componentes realmente usadas.

Otra aclaración previa al capítulo es el por qué de las pocas referencias a las bases de datos, sobre todo comerciales, como fuente de información. En la búsqueda de información se han consultado las principales bases de datos, pero dado que se ha priorizado el uso de información geográficamente cercana, en la mayor parte de los casos se ha optado por el uso de datos provenientes de bibliografía específica, ya que, como señalamos en el capítulo 1, no existen bases de datos completas que cubran el ámbito geográfico español.

## **2.1 Maquinaria**

La metodología de cálculo de emisiones de GEI elegida como referencia es la desarrollada en las publicaciones y documentos de los grupos de trabajo del proyecto CORINE-AIR, más específicamente, en la metodología expuesta en el documento de referencia europea, la Guía para el Inventario de Emisiones Atmosféricas EMEP/EEA (2009) (antes EMEP/CORINAIR). Este documento ha sido desarrollado por la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA) y el Programa Cooperativo para el Seguimiento y Evaluación de la Transmisión a larga distancia de Contaminantes en el Aire (EMEP) de la Convención sobre Contaminación Atmosférica Transfronteriza y a Larga Distancia de la UNECE (Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas) como instrumento de referencia para las notificaciones al Convenio de Ginebra sobre Contaminación Atmosférica Transfronteriza y a Larga Distancia y la Directiva de la Unión Europea sobre Techos Nacionales de Emisión. Según sus autores, este desarrollo pretende

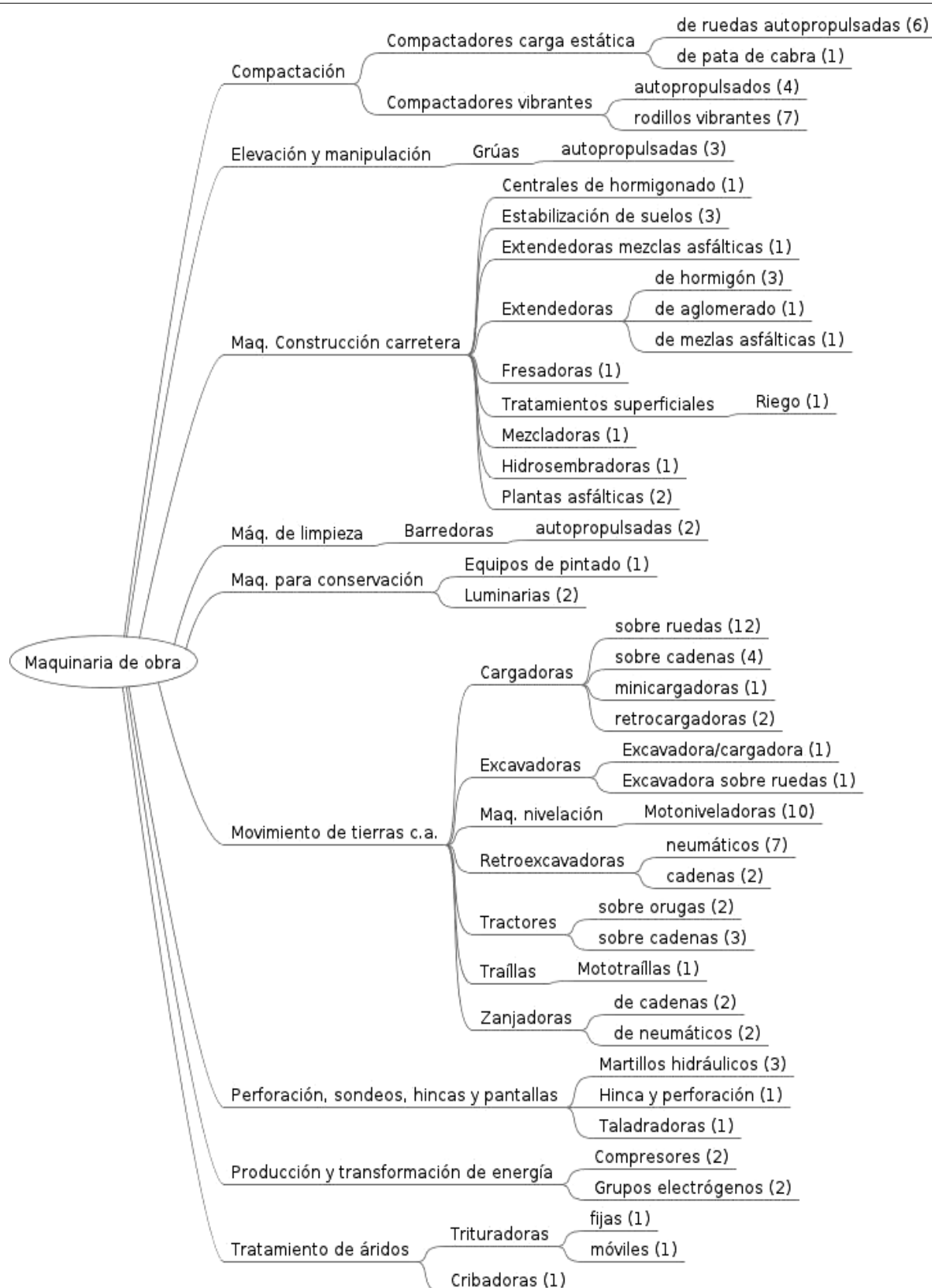
proporcionar un procedimiento transparente y estandarizado y, de este modo, consistente y comparable, para la recolección de datos y la notificación relativos a emisiones, acorde con los requerimientos de los convenios y protocolos internacionales así como de la legislación de la Unión Europea.

La guía EMEP/EEA 2009 es una revisión de versiones anteriores (EMEP/CORINAIR) de este estándar para la realización de inventarios, y en el que se integra el trabajo de diferentes organismos y proyectos europeos, que incluyen la Comisión Europea, con los proyectos MEET (DG VII), los proyectos ARTEMIS y PARTICULATES (DG Transporte), y el proyecto TREMOVE (DG Medio ambiente); la acción EET-COST319; el European Topic Centre de la Agencia Europea de Medio Ambiente, la Universidad de Aristóteles y el programa conjunto EUCAR/JRC/CONCAWE.

### **2.1.1 Maquinaria de obra**

Según la Agencia Europea del Medio Ambiente (EMEP/EEA, 2009), la maquinaria off-road o maquinaria de obra y los equipamientos en general se basan en motores alternativos alimentados con carburantes a base de hidrocarburos líquidos (diésel, gasolina o gas licuado de petróleo, además de los biocombustibles que veremos más adelante). La EEA propone emplear una clasificación específica para el cálculo de las emisiones de GEI de la maquinaria empleada en obra, distinta a la de los vehículos de transporte. Esta clasificación está basada en el tipo de motor, la potencia, el carburante utilizado y la edad del motor. Así, la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA) en su reciente publicación *Emission Inventory Guidebook* (2009) considera esta opción para el cálculo de las emisiones de la maquinaria con las variables mencionadas.

Para poder aplicar esta metodología de la EMEP/EEA es preciso obtener datos de un amplio abanico de maquinaria, intentando cubrir la totalidad de tipos y subtipos de maquinaria usada en obra civil, obteniendo datos de todas las variables (potencia, tipo de combustible, tecnología y/o edad del motor). Se ha recopilado información procedente del proyecto CLEAM-CENIT, de Caterpillar España, y de otras fuentes, obteniéndose datos de 104 modelos de maquinaria, que agrupada en categorías se expone en la figura 2.2.



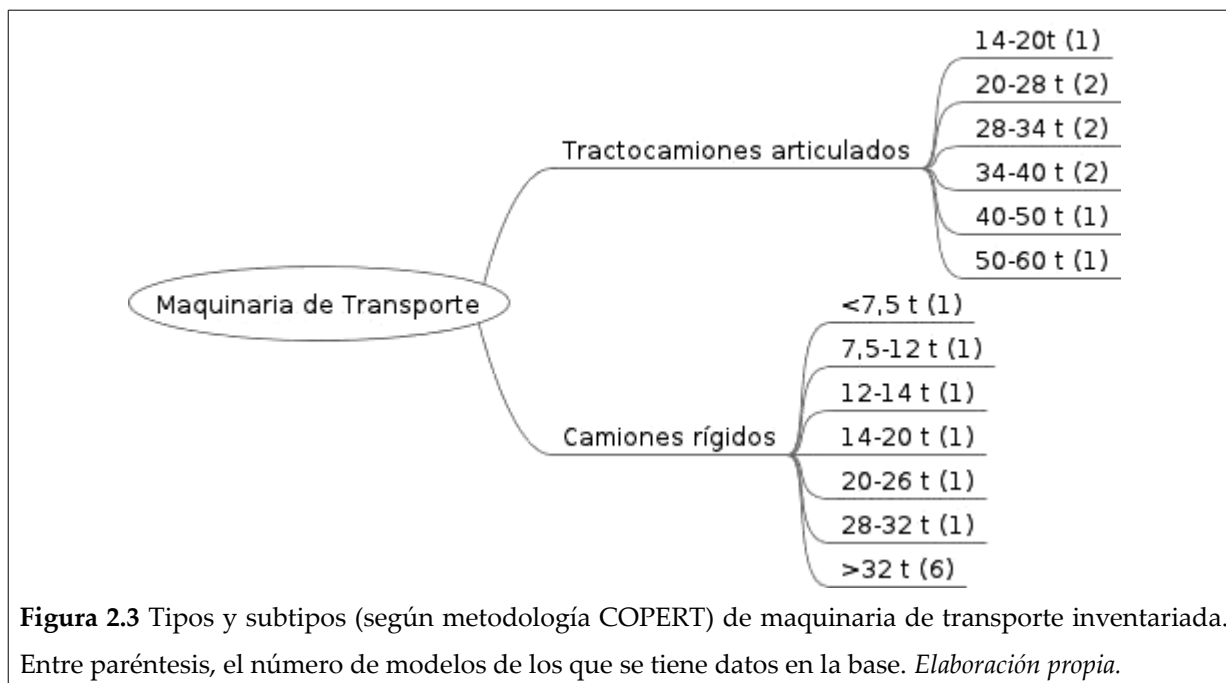
**Figura 2.2** Tipos y subtipos de maquinaria de obra inventariada. Entre paréntesis, el número de modelos de los que se tiene datos en la base. *Elaboración propia.*

### **2.1.2 Maquinaria transporte**

La metodología para la maquinaria de transporte, también derivada de la Guía de EMEP, es la misma que utiliza el programa informático COPERT (específicamente en su versión actual, la versión 4; (COPERT\_4 2007), que constituye la referencia europea básica para la realización de los inventarios nacionales europeos de emisión de GEI con relación al transporte en carretera. De hecho, el inventario anual de emisiones en nuestro país (MARM, 2011) está aplicando esta metodología en sus cálculos para esta actividad.

Para el estudio de la contribución del tráfico en carretera, nos hemos centrado en las emisiones de tubo de escape, como componente mayoritario de las emisiones (no se abordan de momento emisiones evaporativas o procedentes del desgaste de materiales). En este marco, la metodología proporciona las bases para calcular las emisiones de aquellos GEI (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) cuya contribución es evaluada como significativa en esta actividad, además de precursores de ozono, sustancias acidificantes, materia particulada y otros contaminantes. También permite realizar cálculo del consumo de combustibles (energía). La guía EMEP/EEA proporciona dos aproximaciones alternativas para la realización de inventarios de emisiones: una simple y otra de detalle. En COPERT se aplica esta última metodología de detalle, que se corresponde con un nivel de resolución Tier 3 de la EMEP.

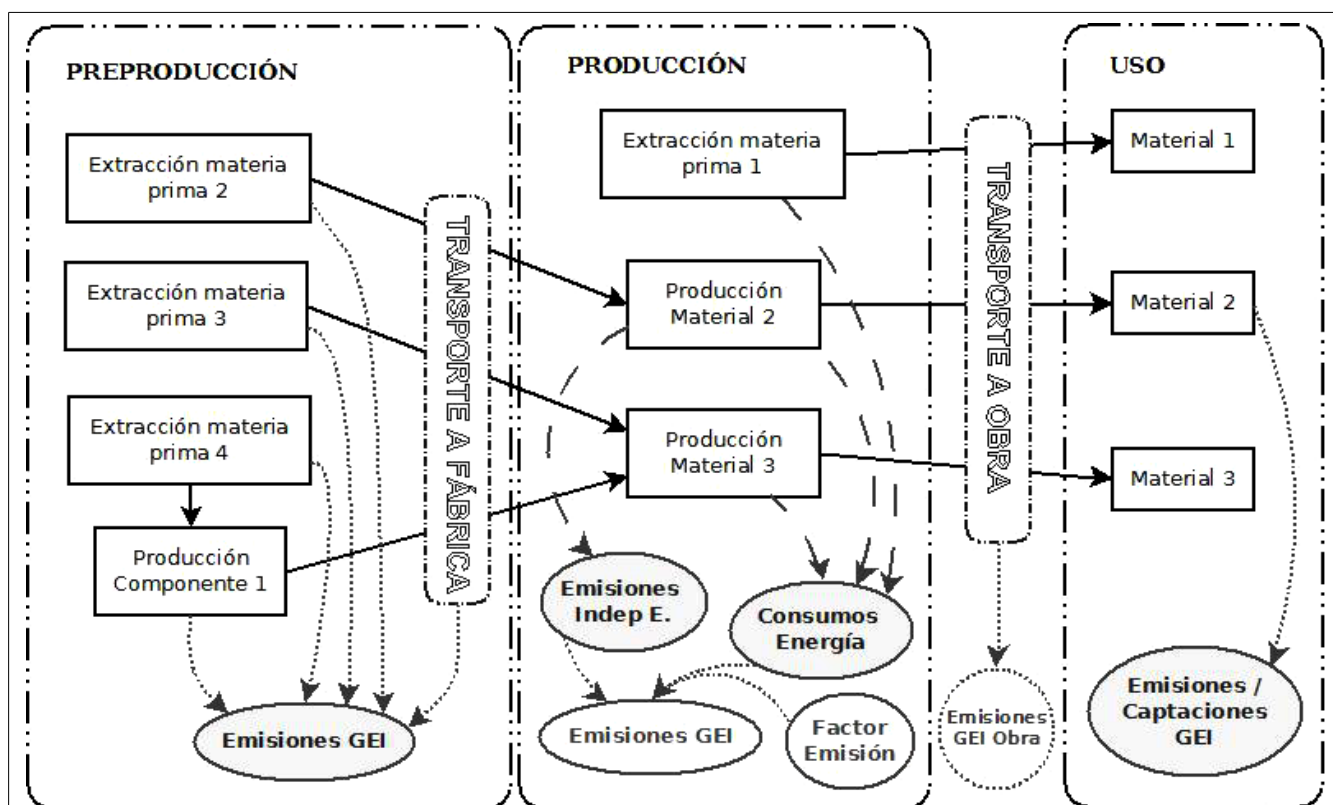
Por tanto, tras obtener por un lado, las funciones de consumos de combustible y emisiones de la guía EMEP/EEA (Tier 3) y por otro, datos (potencias, tecnología, antigüedad...) de 21 modelos representativos del parque de maquinaria de transporte usado en obras nacionales (figura 2.3), se puede calcular las emisiones de este tipo de maquinaria, en función de las características de las máquinas.



## 2.2 Materiales

Las emisiones producidas por la utilización de un material en una unidad de obra vendrán determinadas mediante el producto de la medición correspondiente a esa unidad de obra por el número de unidades de ese material por unidad de medición (cantidad de material utilizado por unidad de medición) y por las emisiones de GEI por unidad de material, distinguiendo las correspondientes a la producción y dentro de estas, el consumo de energía por un lado y las emisiones independientes de la energía por otro, a la preproducción y a las de la fase de uso (figura 2.4).

En la fase de producción se ha decidido recoger la información en forma de consumos de energía (con sus respectivas fuentes) y emisiones independientes de la energía. Esto se ha hecho para dotar de flexibilidad a la herramienta, a la hora de poder modificar las fuentes de energía, y por tanto su factor de emisión, en la elaboración de escenarios. Esta decisión complica la búsqueda de información, porque no hay demasiados estudios sobre materiales que desglosen tanto los datos. Lamentablemente, este desglose no se ha podido hacer extensivo a la fase de preproducción, donde se dan las emisiones totales de la fase, separadas en la medida de lo posible en los respectivos GEIs, aunque si se hace distinción entre emisiones dependientes e independientes de la energía usada en los procesos.



**Figura 2.4** Esquema del cálculo de emisiones de diversos materiales y adjudicación de las mismas a las fases de preproducción, producción y uso. Ejemplos: Material 1: Áridos, Material 2: Cemento, Material 3: Geotextil. *Elaboración propia.*

Cuando se consideren emisiones/captaciones de un material en la etapa de uso, se utilizará entonces el factor de emisión o captación en explotación, incorporando al cálculo el número de años con relación a la vida útil de la infraestructura (pero teniendo en cuenta la unidad temporal respecto a las que se haya definido el factor; esto es, captación anual *vs.* captación a largo plazo, como 50-100 años).

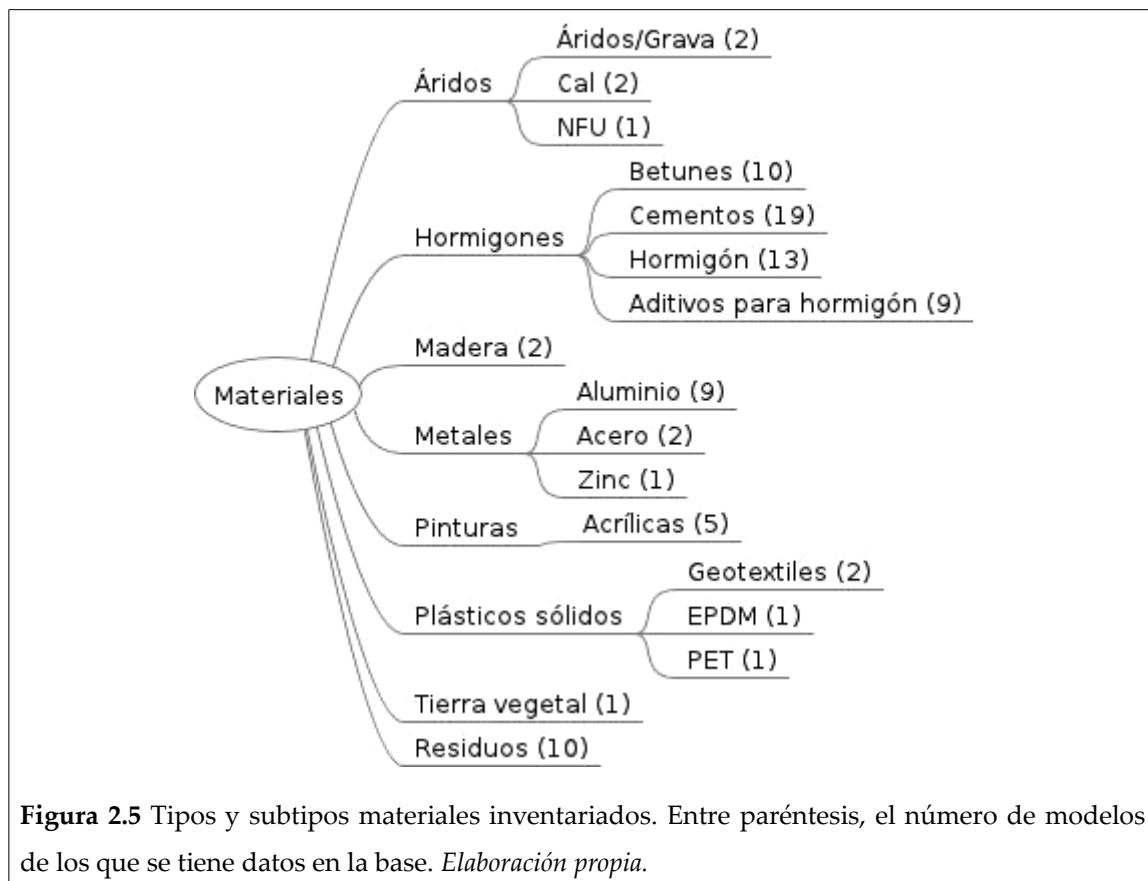
Dentro de materiales se incluirán también aquellos materiales de los sistemas naturales (pies de plantas, mantillo...) que se produzcan en los viveros o que procedan de otras obras, aunque una vez puestos en obra pasarán a formar parte del elemento sistemas naturales.

El transporte a obra de los materiales está contemplado ya como un componente de las unidades de obra, al ser tratado como operación de la maquinaria. No obstante, como aspecto diferencial de la maquinaria específica del transporte, se habilita la posibilidad de modificar los rendimientos asociados a la maquinaria de transporte, teniendo en cuenta en las funciones de

cálculo de esos rendimientos parámetros característicos del material relativos a la densidad y/o la distancia de transporte. El transporte de materias primas o componentes hasta la fábrica o lugar donde se da la producción de los materiales está incluido en la fase de preproducción.

Además de las emisiones y consumos de energía, se ha recopilado información de densidad del material, ámbito geográfico y temporal de la fase de producción y de preproducción, así como las fuentes de información.

A continuación en la figura 2.5 se expone un esquema de las categorías inventariadas dentro del apartado de materiales, así como del número de los mismos en cada categoría, cuyo total asciende a 90 materiales.



### 2.2.1 Áridos

Conocemos como áridos a todos los materiales que se usan como agregados de otros componentes y como material de construcción en sí mismo (para rellenos y terraplenes o como base/sub-base de la plataforma). Los materiales y fuentes consultados están en la tabla 2.1.

- **Áridos/Grava**

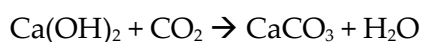
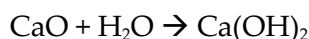
Bajo esta denominación se engloban las arenas, gravas y zahorra en general, sea esta de origen natural, sin modificaciones, o bien provengan de material triturado. Es uno de los materiales básicos en construcción, tanto para relleno como para drenajes y fabricación de hormigones.

- **Cal viva (CaO)**

La cal servirá como agregado y principalmente para la estabilización de suelos y terrenos. Vamos a considerar que la piedra caliza se extrae en cantera, se transporta a planta y tiene lugar la transformación de la caliza ( $\text{CaCO}_3$ ) a cal viva (CaO) según la siguiente ecuación:



Que, como se muestra, emite dióxido de carbono en la reacción independientemente del consumo energético. Cuando la cal viva se mezcla con agua, se forma hidróxido de calcio. Durante esta segunda reacción (en el caso de mezclada con agua), se puede captar dióxido de carbono según la siguiente ecuación:



Donde la captación teórica del  $\text{CO}_2$  ha sido estimada en 786 g/kg CaO (Strippel, 2001), en el caso de que exista  $\text{CO}_2$  en el suelo, por lo que dependerá de la concentración de carbono y carbonatos en el terreno, especialmente en la capa superior (<1 metro). Se puede considerar que las emisiones en la reacción de transformación de caliza en cal se equilibran con el tiempo con las captaciones de dióxido de carbono pero en un periodo de entre cientos y miles de años. Por tanto, esto no tendrá lugar en la vida útil del proyecto de una carretera (aproximadamente 50 años), por lo que la carbonatación de este material no se va a considerar.



- **NFU**

Los neumáticos fuera de uso (NFU) son un material reciclado relativamente reciente que es usado para varias finalidades, entre ellas como relleno ligero para muros de aislamiento acústico, en drenajes, y como aditivo a ciertas mezclas bituminosas. En producción, se ha contabilizado el gasto energético en trocear el neumático hasta el nivel necesario para su uso. No se ha tenido en cuenta las emisiones evitadas por ser residuo valorizado.

**Tabla 2.1** Características de los materiales del grupo áridos. *Elaboración propia.*

Denominación	Descripción	Ámbito Geográfico	Fuentes información
<b>Áridos triturados / Agregados</b>	Extracción y trituración - Materia prima	Unión Europea (Suecia)	Stripple (2001)
<b>Grava natural y arena</b>	Extracción	Unión Europea (Suecia)	Stripple (2001)
<b>Cal viva genérica</b>	CaO como material o como materia prima	Unión Europea (Suecia)	Stripple (2001)
<b>Cal viva</b>	CaO como material o como materia prima, España.	España	IHOBE, (2010)
<b>Neumáticos fuera de uso troceados</b>	Neumáticos fuera de uso como material de relleno para rellenos blandos, muros de contención y para drenajes.	Unión Europea (Italia)	Corti & Lombardi (2004) / Clauzade et al. (2010)

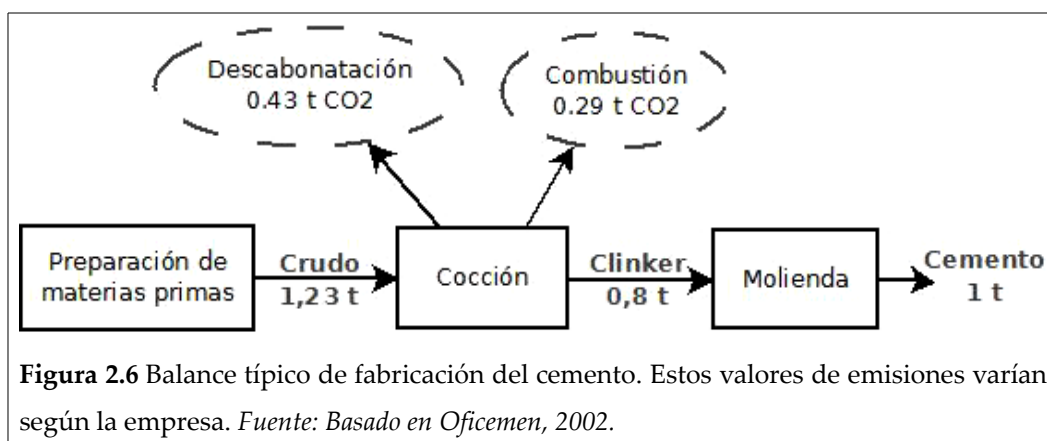
## 2.2.2 Hormigones

- **Cemento**

Vamos a destacar especialmente este material de construcción, puesto que es uno de los materiales más empleados y que mayor repercusión tiene en las emisiones de CO<sub>2</sub> en el mundo. Según un estudio norteamericano (Battelle, 2002), la producción de cemento es responsable de más del 5% de las emisiones globales del hombre. De hecho, más del 20% del cemento producido en España (mayor productor de Europa) se destina a la construcción y mantenimiento de carreteras y viales (OFICEMEN, 2008).

El clínker, elemento fundamental del cemento, es el resultado de cocción entre 1350 y 1450 °C de caliza, marga y otros elementos minoritarios. Mediante su molienda, yeso y otras adiciones se forma el cemento. Como veremos, las posibilidades de reducción en las emisiones de GEI son muchas. El cambio de combustible como fuente energética por otros combustibles alternativos o la reducción en su uso puede ser fundamental. Así, diversas empresas usan neumáticos fuera de uso,

harinas animales, plásticos, maderas, biomasa, etc., como fuentes energéticas alternativas (WBCSD, 2005). Un ejemplo del balance típico de emisiones de CO<sub>2</sub> para identificar los procesos de mayor emisión viene reflejado en la figura 2.6.



En total, aproximadamente el 50% de las emisiones se produce en la descarbonatación, previa a la obtención del clinker. Estas emisiones son totalmente independientes de consumo energético, pues se basan en la reacción química que tiene lugar durante la cocción. Otro 40% de las emisiones se produce en la combustión de combustibles fósiles. El resto (10%) se emite en actividades auxiliares relacionadas con el uso de la electricidad y el transporte (WBCSD, 2005). Como se muestra en este esquema típico de fabricación del cemento (figura 2.6), las emisiones debidas a la descarbonatación es el proceso más importante de emisiones de CO<sub>2</sub> dando unos valores de 0,43 toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada de cemento producido frente a las 0,29 toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas por el consumo energético en la cocción. Este consumo energético en la cocción es muy alto debido a que tiene lugar un proceso intensivo en el uso de la energía para la fusión del clinker a las temperaturas antes mencionadas. Es importante notar que tanto el cemento como el hormigón a lo largo de su vida irán absorbiendo CO<sub>2</sub> en un proceso conocido como “carbonatación” dependiente de la humedad relativa del medio. Generalmente es un proceso lento, pero dada la extensión de las estructuras de hormigón en las obras se ha tenido en cuenta en la fase de uso, usando valores de captación nacionales (Galán et al., 2008). Para el conjunto de cementos Se han recogido datos de la bibliografía existente en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2** Características de los materiales del subgrupo cementos. *Elaboración propia.*

Denominación	Descripción	Ámbito Geográfico	Fuentes información
<b>Cemento Portland</b>	Caso Fábrica de Cataluña	España	Cardim de Carvalho Filho (2001)
<b>Cemento Portland Chino</b>	Cemento proveniente de China	China	Cardim de Carvalho Filho (2001)
<b>Cemento Portland I</b>	Cemento Portland Tipo I	España	Cardim de Carvalho Filho (2001)
<b>Cemento CH</b>	Cemento CH con 95-100 % de clinker Tipo I	España	Cardim de Carvalho Filho (2001)
<b>Cemento CN</b>	Cemento CN con 95-100 % de clinker Tipo I	España	Cardim de Carvalho Filho (2001)
<b>Cemento Portland NL1</b>	Portland NL1 con 95-100 % de clinker Tipo I	España	Cardim de Carvalho Filho (2001)
<b>Cemento S</b>	Cemento S con 95-100 % de clinker Tipo I	España	Cardim de Carvalho Filho (2001)
<b>Cemento SF1</b>	Cemento SF1 con 95-100 % de clinker Tipo I	España	Cardim de Carvalho Filho (2001)
<b>Cemento SF2</b>	Cemento SF2 con 95-100 % de clinker Tipo I	España	Cardim de Carvalho Filho (2001)
<b>Cemento Portland II</b>	Cemento Portland con escorias Tipo II/A-S con 80-94 % clinker	España	Cardim de Carvalho Filho (2001)
<b>Cemento Portland A</b>	Cemento Portland A con escorias Tipo II con 80-94 % clinker	España	Cardim de Carvalho Filho (2001)
<b>Cemento Portland NL2</b>	Cemento Portland con escorias NL2 Tipo II/A-S con 80-94 % clinker	España	Cardim de Carvalho Filho (2001)
<b>Cemento Portland NL3</b>	Cemento Portland con escorias NL3 Tipo II/A-S con 80-94 % clinker	España	Cardim de Carvalho Filho (2001)
<b>Cemento Hoogoven I</b>	Cemento alto horno con 20-34 % clinker Tipo III/B	España	Cardim de Carvalho Filho (2001)
<b>Cemento de escoria de alto horno</b>	Cemento con escorias de alto horno con 20-34 % clinker Tipo III/B	España	Cardim de Carvalho Filho (2001)
<b>Cemento de escoria de alto horno NL1</b>	Cemento con escorias de alto horno NL1 con 20-34 % clinker Tipo III/B	España	Cardim de Carvalho Filho (2001)
<b>Cemento de escoria de alto horno NL2</b>	Cemento con escorias de alto horno NL2 con 20-34 % clinker Tipo III/B	España	Cardim de Carvalho Filho (2001)
<b>Cemento Portland con cenizas</b>	Cemento puzolánicos con 45-64 % clinker Tipo IV/B	España	Cardim de Carvalho Filho (2001)
<b>Cemento genérico</b>	Emisiones independientes media de 12 fábricas españolas y resto europeo	Unión Europea (España)	Strippel (2001)

### • **Hormigón**

El hormigón se basa en la mezcla de, principalmente, cemento, grava y arena, agregados triturados y agua mezclados en distinta proporción. Además, se pueden añadir aditivos y otros materiales reciclados que mejoren o modifiquen las características del hormigón (aireantes, cenizas volantes, NFU, escorias de alto horno,...). La proporción de materiales para la realización de un pavimento de hormigón típico puede ser la siguiente: 400 kg cemento/m<sup>3</sup> de hormigón, 1200 kg de agregados triturados/m<sup>3</sup> de hormigón y 700 kg grava y arena/m<sup>3</sup> de hormigón (Strippel, 2001). Los datos recogidos para el inventario se muestran a continuación en la tabla 2.3.

**Tabla 2.3** Características de los materiales del subgrupo cementos. *Elaboración propia.*

Denominación	Descripción	Ámbito Geográfico	Fuentes información
Hormigón genérico		Unión Europea (Suecia)	Stripple (2001)
Hormigón genérico con cemento de China	Hormigón en masa hecho con cemento chino	Unión Europea (Suecia)	Stripple (2001) / Cardim de Carvalho Filho (2001)
Hormigón genérico C20/25 16 S4		Unión Europea (Suecia)	Sjunnesson (2005)
Hormigón con escorias de alto horno C20/25 S4		Unión Europea (Suecia)	Stripple (2001) / Cardim de Carvalho Filho (2001)
Hormigón genérico C20/25 16 S4 con cemento de China	Hormigón en masa hecho con cemento chino	Unión Europea (Suecia)	Stripple (2001) / Cardim de Carvalho Filho (2001)
Hormigón armado HA 25		Unión Europea (Suecia)	Stripple (2001) / Cardim de Carvalho Filho (2001)
Hormigón genérico C30/37 S4	Pilotes de hormigón fraguados <i>in situ</i>	Unión Europea (Suecia)	Stripple (2001) / Cardim de Carvalho Filho (2001)
Hormigón armado genérico C30/37 S4	Pilotes de hormigón fraguados <i>in situ</i>	Unión Europea (Suecia)	Stripple (2001) / Cardim de Carvalho Filho (2001)
Hormigón con escorias de alto horno C30/37 S4	Pilotes de hormigón fraguados <i>in situ</i>	Unión Europea (Suecia)	Stripple (2001) / Cardim de Carvalho Filho (2001)
Hormigón genérico C30/37 S4 con cemento de China	Pilotes de hormigón fraguados <i>in situ</i>	Unión Europea (Suecia)	Stripple (2001) / Cardim de Carvalho Filho (2001)
Hormigón resistente a heladas C35/45-25-S2-Lu Anl Frost		Unión Europea (Suecia)	Sjunnesson (2005)
Hormigón prefabricado		Estados Unidos	Nisbet et al. (2000) /MARM (2009)
Hormigón prefabricado (con humo de sílice)		Estados Unidos	Nisbet et al. (2000) /MARM (2009)

#### • **Aditivos para el hormigón**

Son una serie de compuestos químicos que modifican las propiedades de la mezcla para mejorarla, o para permitir su correcto fraguado en condiciones adversas. Se han incluido en este epígrafe por su relación funcional con el hormigón, a pesar de que sean compuestos de la industria química. Se detallan en la tabla 2.4.

**Tabla 2.4** Características de los materiales del subgrupo aditivos para el hormigón. *Elaboración propia.*

Denominación	Descripción	Ámbito Geográfico	Fuentes información
<b>Superplastificante</b>	Aditivo reductor de agua de alta actividad / superplastificante para mejorar el asiento del hormigón	Unión Europea (Suecia)	Sjunnesson (2005)
<b>Plastificante</b>	Aditivo reductor de agua / plastificante para mejorar el asiento del hormigón.	Unión Europea	European Federation of Concrete Admixture Associations (2006a)
<b>Superplastificante</b>	Aditivo reductor de agua de alta actividad / superplastificante para mejorar el asiento del hormigón.	Unión Europea	European Federation of Concrete Admixture Associations (2006b)
<b>Retardador</b>	Aditivo retardador de la velocidad de fraguado del hormigón	Unión Europea	European Federation of Concrete Admixture Associations (2006c)
<b>Acelerador</b>	Aditivo acelerador de la velocidad de fraguado, del endurecimiento del hormigón o de ambas cosas	Unión Europea	European Federation of Concrete Admixture Associations (2006d)
<b>Inclusor de aire (Air entrainer)</b>	Aditivo inclusor de burbujas de aire que permanecen tras el endurecimiento	Unión Europea	European Federation of Concrete Admixture Associations (2006e)
<b>Hidrófugo de masa (Waterproofing)</b>	Aditivo que disminuye la cantidad de agua absorbida por capilaridad por el hormigón endurecido	Unión Europea	European Federation of Concrete Admixture Associations (2006f)
<b>Desencofrante con base aceite mineral</b>	Desencofrante soluble en agua con base aceite mineral	España	IHOBE, (2010)
<b>Desencofrante con base aceite vegetal</b>	Desencofrante soluble en agua con base aceite vegetal	España	IHOBE, (2010)

### 2.2.3 Mezclas bituminosas

Las mezclas bituminosas, que también reciben usualmente la denominación de aglomerados bituminosos, están formadas por una combinación de áridos y un ligante hidrocarbonado (betún o emulsión) de manera que las partículas quedan cubiertas por una película continua de éste. Su fase de producción incluye la mezcla de materias primas de forma mecánica en centrales fijas o móviles, el transporte a obra y su extendido y compactado.

Cabe distinguir las mezclas en frío y en caliente. En las primeras el ligante suele ser una emulsión bituminosa por lo que la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente. Las mezclas en caliente se fabrican con betunes de penetración a temperaturas elevadas (>150°C). A continuación se muestran los materiales de los que se tienen datos (tabla 2.5)

**Tabla 2.5** Características de los materiales del grupo mezclas bituminosas. *Elaboración propia.*

Denominación	Descripción	Ámbito Geográfico	Fuentes información
<b>Betún</b>	Betún como materia prima hasta almacén	Unión Europea (Suecia)	Stripple (2001) / MARM (2009)
<b>Emulsión bituminosa</b>	50 % betún + 50 % agua	Unión Europea (Suecia)	Stripple (2001)
<b>Mezcla Bituminosa en Caliente – MBC En fábrica</b>	En Fábrica Fuel-Oil - (5 % Betún + 95 % áridos triturados)	Unión Europea (Suecia)	Modificado de Stripple (2001) / MARM (2009)
<b>Mezcla Bituminosa en Caliente - En fábrica</b>	En Fábrica (5 % Betún + 95 % áridos triturados )	Canadá	Athena Institute (2006)
<b>Mezcla Bituminosa en Caliente Reciclada - Con 20% de RAP</b>	En Fábrica Fuel-Oil - (4 % Betún + 76 % áridos triturados + 20% RAP)	Canadá	Athena Institute (2006)
<b>Hormigón Bituminoso en Caliente – MBC en fábrica</b>	AC 16 SURF 50/70 S OFITA TA (4,7% de betún 4,7% CaCO <sub>3</sub> (filler mineral), 90,6% áridos (ofita))	España	IHOBE (2010)
<b>Hormigón Bituminoso con escorias, semicaliente, en fábrica</b>	AC 16 SURF 50/70 S ESCORIA TB (4,8% de betún 5,6% CaCO <sub>3</sub> , 89,5% escorias de acería 0,14% zeolita)	España	IHOBE (2010)
<b>RAP</b>	Recuperación de Mezclas bituminosas como material	Canadá	Athena Institute (2006)
<b>Mezcla Bituminosa Templada MBT</b>	Fábrica Fuel-Oil - 5 % Betún + 95 % áridos	Unión Europea	Modificado de Stripple (2001) / MARM (2009)
<b>Mezcla Bituminosa Fría MBF</b>	Fábrica Fuel-Oil - 4 % Betún + 96 % áridos	Unión Europea (Suecia)	Stripple (2001) / MARM (2009)

## 2.2.4 Madera

La madera en la obra civil es un material secundario, que se usa a veces en entibaciones, juntas de dilatación o como parte de los múltiples palés para la logística de materiales. Por tanto, y a pesar de que su inclusión en la base pueda parecer anecdótica, se ha añadido este material para que esta tenga la mayor integridad y coherencia con la realidad posible (tabla 2.6).

**Tabla 2.6** Características de los materiales del grupo madera. *Elaboración propia.*

Denominación	Descripción	Ámbito Geográfico	Fuentes información
<b>Tablones de madera seca</b>	Tablones de madera de conífera secada en horno	Canadá	Meil (2000)
<b>Tablones de madera verde</b>	Tablones de madera verde de conífera (no secada en horno)	Canadá	Meil (2000)

## 2.2.5 Metales

### • *Aluminio*

El aluminio va a ser usado principalmente para el equipamiento de señales de tráfico, barreras de protección, iluminación, etc. Van a tener especial importancia en la fabricación del aluminio dos gases de efecto invernadero que se producen en la reacción química que tienen lugar

pero que no habíamos considerado en este estudio. Son el CF<sub>4</sub> y el C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> que vamos a considerar en la producción del aluminio debido a que su potencial de calentamiento global (Global Warming Potential, GWP) de CF<sub>4</sub> y C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> son, respectivamente, 7 390 CO<sub>2</sub>e y 12 200 CO<sub>2</sub>e razón por la que se va a considerar su introducción en el modelo.

- **Acero**

La utilización del acero en los proyectos de carreteras es fundamentalmente en los pavimentos de hormigón, estructuras de hormigón armado o acero, además de para señales, vallas y demás protección adicional. En estos últimos usos, el acero galvanizado es el de mayor uso. Así, los datos necesarios (incluido el Zinc para el galvanizado) se enumeran en la tabla 2.7.

**Tabla 2.7** Características de los materiales del grupo metales. *Elaboración propia.*

Denominación	Descripción	Ámbito Geográfico	Fuentes información
<b>Aluminio</b>	75 % reciclado europeo	Unión Europea	Tillman et al. (1991) / MARM (2009)
<b>Aluminio primario extruido</b>	0% reciclado	España	Leroy (2009) / MARM (2009)
<b>Aluminio primario extruido de Francia</b>	0% reciclado, Francia	Francia	IFEU Heidelberg et al. (2010) / Leroy (2009)
<b>Aluminio primario en lámina</b>	0% reciclado	España	Leroy (2009) / MARM (2009)
<b>Aluminio primario en lámina de Francia</b>	0% reciclado, Francia	Francia	IFEU Heidelberg et al. (2010) / Leroy (2009)
<b>Aluminio secundario, de aluminio nuevo, extruido</b>	100% reciclado usando aluminio primario	España	Leroy (2009) / MARM (2009)
<b>Aluminio secundario, de aluminio nuevo, en lámina</b>	100% reciclado usando aluminio primario	España	Leroy (2009) / MARM (2009)
<b>Aluminio secundario, de aluminio viejo, extruido</b>	100% reciclado usando aluminios secundarios	España	Leroy (2009) / MARM (2009)
<b>Aluminio secundario, de aluminio viejo, en lámina</b>	100% reciclado usando aluminios secundarios	España	Leroy (2009) / MARM (2009)
<b>Acero - Acero galvanizado</b>	0 % acero reciclado y 0,5 % de zinc	Unión Europea	Environmental Life-Cycle Inventories of Energy Systems (1994)
<b>Acero - Acero galvanizado chino</b>	0 % acero reciclado y 0,5 % de zinc	China	Baosteel (2006) / Environmental Life-Cycle Inventories of Energy Systems (1994) / IFEU et al.(2010)
<b>Zinc</b>	Zinc para la galvanización del acero (caso europeo)	Unión Europea (Suecia)	Strippel (2001)

## 2.2.6 Pinturas

Las pinturas son un material muchas veces obviado en otros análisis, pero que, para una mejor precisión del análisis se ha decidido incluir. Las pinturas de uso en carretera son acrílicas,



bien con base de agua o con base de disolvente, estas últimas tienen mayores problemas de toxicidad. La unidad de medición es el m<sup>2</sup> de superficie pintada, haciéndose distinción entre rendimientos de primeras capas y de repintes (Tabla 2.8).

**Tabla 2.8** Características de los materiales del grupo pinturas. *Elaboración propia.*

Denominación	Descripción	Ámbito Geográfico	Fuentes información
<b>Pintura con base de agua, primera capa</b>	Capa base de pintura con un rendimiento de 440 g/m <sup>2</sup>	Unión Europea (Francia)	Vanderberghe & Berthet (2005)
<b>Pintura con base de agua, primera capa, de Francia</b>	Capa base de pintura con un rendimiento de 440 g/m <sup>2</sup>	Francia	IFEU Heidelberg et al. (2010) / Vanderberghe & Berthet (2005)
<b>Pintura con base de agua, repinte</b>	Capa de pintura con un rendimiento de 275 g/m <sup>2</sup>	Unión Europea (Francia)	Vanderberghe & Berthet (2005)
<b>Pintura con base de disolvente, primera capa</b>	Capa base de pintura con un rendimiento de 600 g/m <sup>2</sup>	Unión Europea (Francia)	Vanderberghe & Berthet (2005)
<b>Pintura con base de disolvente, repinte</b>	Capa de pintura con un rendimiento de 350 g/m <sup>2</sup>	Unión Europea (Francia)	Vanderberghe & Berthet (2005)

### 2.2.7 Plásticos sólidos

Esta categoría agrupa a una serie de materiales utilizados en volúmenes menos importantes, pero que son imprescindibles para muchos proyectos. Como en el caso de las pinturas, algunas veces no han sido tenidos en cuenta en estudios de carreteras. Destacar en este grupo los geotextiles, de uso muy extendido en drenajes y contención y restauración de desmontes y terraplenes. Se ha incluido un geotextil de yute en este grupo, a pesar de que no es plástico, por desempeñar la misma función que el convencional (tabla 2.9).

**Tabla 2.9** Características de los materiales del grupo plásticos sólidos. *Elaboración propia.*

Denominación	Descripción	Ámbito Geográfico	Fuentes información
<b>Caucho sintético (EPDM)</b>	EPDM (Ethylene-Propylene Diene Rubber)	Unión Europea	Environmental Life-Cycle Inventories of Energy Systems (1994)
<b>Polietileno plástico</b>	Media de 36 Plantas europeas (prod+preprod juntos)	Unión Europea	Stripple (2001)
<b>Geotextil de Yute</b>	Geotextil tejido de fibra natural (Yute) 500g/m <sup>2</sup>	Internacional (India)	PricewaterhouseCoopers (2006)
<b>Geotextil de Poliéster</b>	Geotextil de PET reciclado no tejido (nonwoven) 150 g/m <sup>2</sup>	Unión Europea (Italia)	EPD (2010)

### 2.2.8 Tierra vegetal

La tierra vegetal es un elemento muy utilizado en la adecuación estética y paisajística, es retirada al comienzo de las obras y reextendida al final, por lo que no suele ser comprada de



propio. Por ese motivo, y dado que las emisiones de las operaciones mencionadas se imputan en el apartado maquinaria, no se le han adjudicado consumos en producción o preproducción. Los contenidos en carbono de este material se detallan en el capítulo 3.

### **2.2.9 Residuos**

La gestión de recursos y residuos en un proyecto de carreteras es fundamental debido a la gran cantidad de materiales que se necesitan y el amplio volumen de residuos que se generan. La reutilización y los tratamientos de estabilización del suelo se vuelven fundamentales en los proyectos de infraestructuras lineales ya que permiten, como ya señalan (Sampedro Rodríguez 2007; Sampedro Rodríguez 2008):

- Reutilizar los suelos de la traza, sean cuales sean las propiedades del terreno, minimizando el movimiento de tierras, los préstamos y vertederos necesarios
- Reutilizar residuos y subproductos de otras actividades industriales que debieran ser llevados a vertederos de inertes
- Reutilizar los residuos de construcción y demolición (RCD) sin necesidad de tratamientos previos, como marca también el Plan Nacional Integrado de Residuos 2007-2015 - Anexo 6 *“Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición”* (MARM, 2009a).
- Reciclar capas de infraestructura ya agotadas tras su vida útil.

Cabe también, para este componente, la misma observación realizada respecto al transporte del resto de materiales. Sin embargo, es un poco diferente el cálculo de emisiones, dado que en el caso de los residuos no se considera ni una fase de preproducción, ni unos consumos de energía asociados a producción (ya que son residuos) aunque si se contabilizan las emisiones/captaciones independientes de la energía, cuando las hay. Este es el caso de residuos de demolición de estructuras de cemento y hormigón, cuando el hormigón es fragmentado puede carbonatarse casi completamente en poco tiempo, captando una cantidad significativa de CO<sub>2</sub>.

Se incluyen asimismo como residuos elementos naturales como son la biomasa vegetal generada en el despeje y desbroce del terreno, así como la tierra vegetal extraída en las excavaciones. (Tabla 2.10)

**Tabla 2.10** Características de los residuos de materiales. *Elaboración propia.*

Denominación	Descripción	Ámbito Geográfico	Fuentes información
<b>Residuo Hormigón demolición</b>	Resultado de demolición de hormigón armado (no de pavimento)	España	EUPAVE et al (2010) / ItEC (2010)
<b>Residuo Hormigón por uso</b>	Resultado del demolición de hormigonado	España	EUPAVE et al (2010) / ItEC (2010)
<b>Residuo Mezcla bituminosa</b>	Mezcla bituminosa que no contiene alquitrán de hulla	España	IteC (2010)
<b>Residuo Tierras y piedras</b>	Tierras y piedras que no contienen sustancias peligrosas	España	IteC (2010)
<b>Residuo Envases de plástico</b>	Envases de plástico	España	IteC (2010)
<b>Residuo Envases de Maderas</b>	Envases de Maderas	España	IteC (2010)
<b>Residuo Hierro y acero</b>	Hierro y Acero procedentes de su uso en pilares	España	IteC (2010)
<b>Residuo Envases Metálicos</b>	Envases Metálicos	España	IteC (2010)
<b>Residuos de Ladrillos</b>	Residuos de Ladrillos	España	IteC (2010)
<b>Residuo Tierras contaminadas</b>	Residuos de suelos contaminados	España	IHOBE (2010)
<b>Residuo Tierra Vegetal</b>	Tierra vegetal de calidad media compuesta por árido en un 88% y materia vegetal en un 12%.	España	IteC (2010)
<b>Residuo Biomasa</b>	Biomasa retirada de la obra tras afección a sistemas naturales	España	CO <sub>2</sub> NSTRUCT

## 2.3 Energía

La energía es el elemento transversal de todo este capítulo. Es el principal componente a tener en cuenta en cualquier ACV, y las reglas de cálculo y factores de emisión determinan en gran medida los resultados que se obtienen. Así pues, resumimos a continuación las características más relevantes de nuestro enfoque, separando por un lado la proveniente de combustibles, por otro la de origen renovable y nuclear y, para terminar, los mixes de electricidad.

### 2.3.1 Combustibles

Los combustibles utilizados en todas las fases del análisis, desde la producción de materias primas, pasando por el uso de maquinaria, hasta la generación de electricidad tienen el factor de

emisión desglosado en factor de combustión y de precombustión. Con factor de combustión nos referimos a las emisiones causadas en la quema del combustible, mientras que el factor de precombustión recoge todas las emisiones “aguas arriba” de la quema del material (exploración, extracción, refino, transporte y distribución...). Todos los factores de la fase de combustión han sido tomados de fuentes oficiales españolas (MARM, 2011) que a su vez están basadas en datos europeos oficiales de EMEP/CORINAIR. Podemos dividir los combustibles según su finalidad, en tres apartados principales:

- ***Maquinaria***

En los combustibles para maquinaria, se han incluido varias mezclas de gasóleo con biodiésel, y de gasolina con bioetanol para su inclusión en escenarios. Al biodiésel y al bioetanol, siguiendo las recomendaciones del PAS 2050 (BSI et al., 2008), no se les ha asignado emisiones en fase de combustión a pesar de que éstas evidentemente existen.

Los factores de precombustión de todos los combustibles de maquinaria se han tomado del estudio de Álvarez-Díaz et al. (2008).

- ***Industria***

Un total de 23 diferentes combustibles han sido tenidos en cuenta para las fases de producción de materiales en la industria. Entre ellos destaca el caso de residuos industriales, como goma triturada, gas residual, residuos agrícolas... No se dispone de emisiones de precombustión para estos combustibles.

- ***Para electricidad***

Aquí se incluyen tanto los combustibles usados en la generación de electricidad de la red eléctrica como el diésel usado en generadores en las propias obras. Los factores de precombustión se han tomado de diversos estudios recogidos en la tabla 2.11.

**Tabla 2.11** Fuentes de información para los factores de emisión de los combustibles para electricidad. *Elaboración propia.*

Denominación	Fuentes información precombustión	Fuentes información combustión
<b>Carbón con fin eléctrico</b>	White & Kulcinski (2000)	
<b>Fuel-Gas con fin eléctrico</b>	Hondo (2000)	MARM (2011)
<b>Diesel para electricidad</b>	Álvarez Díaz et al. (2008)	
<b>Gas natural con fin eléctrico</b>	Meier (2002)	

### 2.3.2 Renovables y nuclear

Las energías renovables y la energía nuclear no tienen emisiones de GEI en el momento que se produce la energía (en términos de la herramienta, en fase de combustión). Sin embargo, se han incluido en el factor las emisiones asociadas a la construcción de la infraestructura necesaria (nivel 3 en los límites del sistema, dentro de la fase de precombustión). Esta asunción hace que la nuclear y las renovables no tengan un factor de emisión nulo, como consideran en sus cálculos algunos organismos nacionales (MARM, 2011). Estas emisiones, englobadas dentro de los factores de precombustión, se han tomado de varios estudios detallados en la tabla 2.12.

**Tabla 2.12** Fuentes de información para los factores de emisión de las energías renovables y la energía nuclear. *Elaboración propia.*

Denominación	Fuentes información precombustión	Fuentes información combustión
<b>Eólica</b>	White & Kulcinski (2000) / Rozycki et al (2003)	
<b>Hidroeléctrica</b>	Tokimatsu et al. (2000) / Rozycki et al. (2003)	
<b>Mini hidráulica</b>	Spadaro et al. (2000)	MARM (2011)
<b>RSU y biomasa para electricidad</b>	Spadaro et al. (2000)	
<b>Solar fotovoltaica</b>	Meier (2002)	
<b>Nuclear</b>	White & Kulcinski (2000).	

### 2.3.3 Mix electricidad

La electricidad usada en este análisis, salvo la producida en obra mediante generadores, no proviene de una sola fuente, sino de la red eléctrica, que posee un mix o mezcla de fuentes determinado. Para los cálculos hemos utilizado genéricamente los mixes eléctricos nacionales

actualizados de dónde son realizados los consumos, pero también hemos querido contemplar la opción de contratar un mix enriquecido o empobrecido en energías renovables, como se verá en el apartado correspondiente.

♦ ***Mixes eléctricos nacionales***

En el caso de los mixes eléctricos utilizados como genéricos en los cálculos, se han calculado los factores de emisión teniendo en cuenta las variaciones geográficas de las fases del ciclo de vida, a través del uso de diferentes mixes eléctricos dependiendo de la localización espacial de los procesos. Este hecho, si bien no es relevante para el caso base, si nos permite establecer escenarios de materiales importados. La composición de estos mixes se ha obtenido de fuentes oficiales (IEA, 2009a y 2008c; MITYC, 2010; Red Eléctrica de España, 2010).

♦ ***Mixes comercializadoras***

Cada kW de energía eléctrica en la red de distribución es indistinguible de cualquier otro, proceda de la fuente que proceda. Si bien esto sigue siendo válido, la Comisión Europea, (directivas 2004/8/CE, 2009/28/CE y 2009/72/CE (Unión Europea, 2004, 2009a y 2009b)) instó a los gobiernos de la UE a exigir a las empresas del sector eléctrico que garanticen las fuentes de origen de la electricidad suministrada a los consumidores y su impacto ambiental, al menos en emisiones específicas de CO<sub>2</sub>. Este hecho significa, a efectos prácticos, que legalmente es posible hacer distinción dentro de la electricidad que consumimos entre energía de orígenes diferentes, y por tanto, con emisiones de GEI dispares. Por tanto, tiene sentido en nuestro análisis distinguir entre los mixes de diferentes empresas comercializadoras.

En España, es la Comisión Nacional de la Energía (CNE) el organismo encargado de certificar el origen de la energía mediante el “Sistema de Garantía de Origen y Etiquetado de la Electricidad” cuya normativa se recoge en la Orden Ministerial ITC 1522/2007 (MITYC, 2007) y que consiste en el establecimiento de un mecanismo de anotaciones en cuenta en la página web de la CNE (análogo a un registro público), en el que voluntariamente los productores de electricidad que utilicen fuentes renovables o cogeneración de alta eficiencia pueden solicitar voluntariamente la inscripción de las garantías de origen que les puedan corresponder. La garantía de origen (GdO) es una acreditación, expedida a solicitud del interesado, que asegura que un número determinado de kilowatios-hora de energía eléctrica producidos en una central, en un periodo temporal

determinado, han sido generados a partir de fuentes de energía renovables o de cogeneración de alta eficiencia (MITYC, 2007).

Los productores pueden solicitar la transferencia de las garantías de las que son titulares a los comercializadores, para que estos últimos una vez les sean transferidas las garantías, pueden cancelar las mismas en el suministro a sus consumidores, previa comprobación de las medidas eléctricas de consumo. Todo el sistema está sometido al resultado final de las inspecciones de la CNE.

El sistema permite a las empresas comercializadoras ofrecer a sus clientes energía con mayor contenido en renovables, que puede llegar al 100%. Estos kW certificados son restados al mix de comercialización del resto de empresas, que lógicamente queda con emisiones mayores. A efectos prácticos, al ser la energía un mercado liberalizado (Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico (España, 1997)), cabe la posibilidad de que el consumo eléctrico de cualquiera de los procesos implicados en la construcción de carreteras pueda tener unas emisiones diferentes dependiendo de la compañía eléctrica que les suministre.

Para el cálculo de emisiones en nuestra aplicación, se va a ofrecer la posibilidad de elegir entre las empresas comercializadoras españolas que ofrecen tarifas “enriquecidas” en renovables y las genéricas (que no han adquirido Garantías de Origen).

Para calcular las emisiones ligadas a la electricidad de cada tipo de empresas se va a seguir la metodología de la CNE, recogida en el Anexo I de la Circular 1/2008 (MITYC, 2008) con ciertas modificaciones. Se usarán los coeficientes de emisión de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> calculados según técnicas de análisis de ciclo de vida para hallar las emisiones del mix nacional genérico como datos de entrada a la hora de aplicar esta metodología, en vez de, por ejemplo, asignar a las renovables el valor de 0 g/CO<sub>2</sub> por kW/h como hace el MITYC.

También se tendrán en cuenta las categorías de fuentes de energía establecidas en el informe “La energía en España 2009” (MITYC, 2010), que llevan ya incluidos los intercambios internacionales. En esta clasificación no se tiene en cuenta como categoría separada las centrales de cogeneración (al contrario que la Circular de la CNE), al no ser estrictamente una fuente de

energía, sino una tecnología para obtenerla. Siguiendo este criterio, las mejoras en el rendimiento producidas por el uso de la cogeneración se tendrán en cuenta en el cálculo de los factores de emisión de cada fuente, principalmente en el gas natural y fuel/gas, que son los principales combustibles usados en la cogeneración (el 89,7% del total en 2008 (CNE, 2009)). Este cálculo es viable dado que la administración publica los datos de combustibles utilizados en cogeneración y cogeneración de alta eficiencia, al ser incluidas en el “Régimen especial”. La eliminación de la categoría de “Cogeneración de alta eficiencia” a pesar de que sea objeto de las anteriormente citadas Garantías de origen, está suficientemente justificada, por su escaso peso dentro del mix nacional (1,7% en 2008 (CNE, 2009), y por no mejorar sustancialmente las emisiones de las empresas que adquieren Garantías de origen de cogeneración de alta eficiencia, dado que su coeficiente de emisión de CO<sub>2</sub> se sitúa en 0,38 frente al 0,39 de la media nacional en 2008, según datos de la CNE (2009).

El cálculo de emisiones por comercializadora se computa de la siguiente manera:

**a) Obtención de la mezcla de producción clasificada**

Partiendo del mix o mezcla de producción nacional usado en el cálculo de emisiones genérico, para obtener el la mezcla de producción deberemos agrupar toda la energía renovable (Eólica, solar fotovoltaica o térmica, hidráulica, biomasa, biogás...) en una único dato  $E_{RE}$ . Este dato se obtiene simplemente sumando todos los kW/h procedentes de estas energías. Este paso es necesario para obtener una mezcla producción adecuada a la aplicación de las garantías de origen, que tratan a las renovables como un conjunto único. Tras este paso se obtiene la tabla 2.13, que se muestra a continuación, con todas las fuentes de energía relativizadas en función de su aporte a la producción total nacional.

**Tabla 2.13** Mezcla de producción clasificada. *Basado en MITYC (2008)*

Renovables (Puras + Híbridas)	$E_{RE} / E_{NAL}$
Ciclos Combinados gas natural	$E_{CC} / E_{NAL}$
Carbón	$E_{CA} / E_{NAL}$
Fuel/Gas	$E_{FG} / E_{NAL}$
Nuclear	$E_{NU} / E_{NAL}$
Total Producción Eléctrica Nacional ( $E_{NAL}$ )	100%

**b) Obtención de la mezcla de comercialización genérica**

El siguiente paso es descontar a la mezcla de producción el total de los kW de energías renovables que poseen garantías de origen ( $E_{RE}^G$ ), es decir, que ya han sido certificados para una empresa, con el fin de evitar una doble contabilidad de los mismos. De este modo se obtiene:

$$E_{RE}^C = E_{RE} - E_{RE}^G \quad E_{NAL}^C = E_{NAL} - E_{RE}^G \quad \text{y la tabla 2.14}$$

**Tabla 2.14** Mezcla de comercialización genérica. *Basado en MITYC (2008)*

Renovables (Puras + Híbridas)	$E_{RE}^C / E_{NAL}^C$
Ciclos Combinados gas natural	$E_{CC} / E_{NAL}^C$
Carbón	$E_{CA} / E_{NAL}^C$
Fuel/Gas	$E_{FG} / E_{NAL}^C$
Nuclear	$E_{NU} / E_{NAL}^C$
Total Producción Eléctrica Nacional sin garantías de origen ( $E_{NAL}^C$ )	100%

Esta mezcla, empobrecida en renovables será la que se use para calcular las emisiones de GEI asociadas a las empresas (o a tarifas de las mismas) que no hayan comprado garantías de origen.

**c) Obtención de la mezcla de comercialización de empresas con GdO**

Para conseguir la mezcla de comercialización de cada empresa hay que sumarle las garantías de origen a su porcentaje de energías renovables:



$$C_{RE}^A = C^A - C_{RE}^A * (E_{RE}^C / E_{NAL}^C) + C_{RE}^A$$

Siendo:

$C^A$  = Total de energía comercializada por la empresa A

$C_{RE}^A$  = Energía renovable comercializada por la empresa A

$C_{RE}^A$  = Garantías de Origen renovable de la empresa A

Este ajuste implica que un porcentaje menor de la energía sea producida por el resto de energías, que llamaremos de generación convencional ( $C_{GC}^A$ )

$$C_{GC}^A = C^A - C_{RE}^A$$

Este guarismo nos servirá para distribuir la pérdida de peso en el mix de estas energías más contaminantes de forma proporcional a la mezcla nacional, de forma que la mezcla de comercialización de la empresa A viene explicada en la tabla 2.15.

<b>Tabla 2.15</b> Mezcla de comercialización de la empresa A. <i>Basado en MITYC (2008)</i>	
Renovables (Puras + Híbridas)	$C_{RE}^A / C^A$
Ciclos Combinados gas natural	$C_{GC}^A * (E_{CC} / E_{NAL}^C) / C^A$
Carbón	$C_{GC}^A * (E_{CA} / E_{NAL}^C) / C^A$
Fuel/Gas	$C_{GC}^A * (E_{FG} / E_{NAL}^C) / C^A$
Nuclear	$C_{GC}^A * (E_{NU} / E_{NAL}^C) / C^A$
Total energía comercializada por la empresa A ( $C^A$ )	100%

#### d) Obtención del impacto ambiental asociado

Llegados a este punto, únicamente habrá que multiplicar los coeficientes específicos de emisión de cada fuente para cada gas de efecto invernadero por el valor que le corresponda en la tabla de la empresa, y sumar todas las emisiones por fuente y kW/h para hallar las emisiones totales por kW/h de cada empresa.

Los coeficientes de emisión de las energías renovables serán igual al sumatorio del coeficiente de emisión (de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O o CH<sub>4</sub>) de cada fuente de energía multiplicado por el peso que supone la fuente sobre el total de renovables.

Para concluir con el tema de mixes energéticos se incluye un cuadro resumen donde se enumeran todos los mixes que hemos considerado en este estudio (tabla 2.16).

**Tabla 2.16** Características de los mixes eléctricos presentes en este estudio. *Elaboración propia.*

Denominación	Descripción	Ámbito Geográfico	Fuentes información
<b>Mix electricidad máquinas diesel</b>	Mix electricidad para máquinas que generan la electricidad a partir de diesel	España	Caso de un compresor o grupo electrógeno tipo.
<b>Mix eléctrico chino de 2008</b>	Mix eléctrico de China de 2008	China	IEA (2010a)
<b>Mix eléctrico francés de 2008</b>	Mix eléctrico de Francia, de 2008	Francia	IEA (2010c)
<b>Mix eléctrico nacional 2009</b>	Mix eléctrico español	España	REE (2010) / MITYC (2010)
<b>Mix eléctrico nacional actualizado</b>	Mix eléctrico español actualizado del año pasado.	España	MITYC (2010)
<b>Mix eléctrico comercializado 100% renovable</b>	Mix eléctrico español correspondiente a tarifas 100% renovable ofertadas por comercializadoras con garantías de origen renovable 2009.	España	CNE (2009) / CNE (2010) / MITYC (2010)
<b>Mix eléctrico comercializado sin GdO renovable</b>	Mix eléctrico español correspondiente a tarifas ofertadas por comercializadoras sin Garantías de Origen renovable, como por ejemplo, las tarifas de último recurso (2009).	España	CNE (2009) / CNE (2010) / MITYC (2010)

## 2.4 Sistemas naturales

Construir una carretera implica un cambio de uso del terreno, tanto del que es ocupado por estructuras como el de las zonas auxiliares para la construcción. A no ser que se construya sobre superficies artificiales (como ocurre a menudo en entornos urbanos), este cambio de uso va a afectar a sistemas naturales (vegetación y suelo). Estos elementos naturales poseen carbono en su composición, por lo que su alteración parcial o total va a tener asociada unas emisiones de GEIs. En los Inventarios Nacionales se contabilizan estas emisiones asociadas a cambios de uso de tierra,

sin embargo no ocurre lo mismo en ninguno de los análisis sobre carreteras precedentes. Hasta el inicio de esta tesis solo había sido tomada en cuenta el área ocupada en el estudio de Mroueh et al. (2000), que sin embargo no entra a valorar el impacto que tiene este cambio de uso sobre la categoría de cambio climático. Posteriormente también se ha valorado las emisiones por Cambio de uso de tierra en un reciente estudio en EEUU (Melanta, 2010).

Para evaluar este impacto, en los Inventarios Nacionales se siguen las recomendaciones de la Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas para Uso de la Tierra y Cambios de Uso de la Tierra y Silvicultura (UTCUTS) (IPCC, 2003). Estas recomendaciones no son lo suficientemente precisas para poder usarse como única guía en los proyectos de carreteras, ni hay tampoco otras propuestas aplicables al seguimiento de esta actividad. Por tanto, ante esta carencia, es necesario elaborar una metodología propia, que sea fácil de aplicar a cualquier proyecto de carreteras. Esta metodología se explicará en detalle en el capítulo siguiente.

Para el cálculo del balance de carbono por motivos del cambio de uso del suelo en la realización de una carretera se requieren tres datos básicos:

- Qué categoría de uso del suelo se ve afectado (y su extensión)
- Qué cantidad de carbono hay almacenada en los distintos compartimentos (biomasa aérea, subterránea, suelos) de dicha categoría de uso del suelo.
- Qué cantidad de carbono es capaz de captar los sistemas que se establezcan en el terreno tras la perturbación.

Para resolver la primera cuestión es necesario establecer una categorización efectiva. Para este objetivo nos hemos basado principalmente en las categorías presentes en el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos a escala 1:50.000 de España (MARM, 2009b), si bien se han realizado modificaciones que se detallan en el apartado 3.2. También se ha intentado compatibilizar esta clasificación con las presentes en el INEGI (MARM, 2011), el Inventario Nacional Forestal (MMA, 1998) y el Anuario de Estadísticas Agroalimentarias y Pesqueras (MARM, 2008).

La información referente a la cantidad de carbono de cada categoría se ha obtenido del Inventario Forestal Nacional, completándolo con estudios concretos. Los cálculos y valores usados se detallan y justifican en el apartado 3.3.

### **3 Sistemas Naturales**

Los cambios de uso de territorio, que en su mayoría afectan a sistemas naturales, son la segunda fuente de emisión de GEIs a escala global, tras la quema de combustibles fósiles (IPCC, 2007). Además, la vegetación y los suelos son uno de los principales sumideros de carbono, tras los océanos (Siegenthaler & Sarmiento, 1993). Este hecho, unido al desconocimiento de las emisiones asociadas a impactos producidos en la vida útil de la obra civil que sobre los ecosistemas, justifica la necesidad de llevar a cabo un desarrollo específico este tema. Como señalamos en el capítulo anterior, no existía al inicio del estudio una propuesta metodológica concreta válida para la inclusión de las emisiones relacionadas con la afección a los sistemas naturales (suelos y vegetación) en las infraestructuras de carreteras, ni de las captaciones de los “nuevos” ecosistemas establecidos (siguiendo la terminología de Hobbs et al. (2006) “novel ecosystems”). Estos nuevos sistemas pueden tener una dinámica muy diferente al sistema natural preestablecido (Hobbs et al., 2006). Muy recientemente (con el presente estudio en vías de finalización) se ha publicado una propuesta en este sentido (Melanta, 2012), que analiza un proyecto de carretera incluyendo las emisiones por afección a sistemas naturales y las captaciones de CO<sub>2</sub> por crecimiento de la vegetación. Melanta, en su estudio, asimila todas las especies de nuevas plantaciones a dos únicas categorías forestales, coníferas y caducifolias. Solo tiene en cuenta las emisiones “on site”, es decir, no cuenta por ejemplo las de los residuos vegetales y el límite temporal de su estudio es de sólo 20 años. Por tanto, aunque pueda ser un buen punto de partida, creemos que la propuesta de Melanta es bastante mejorable.

Existen estudios que tratan sobre el balance de carbono como consecuencia de usos y cambios de uso del territorio (UTCUTS). Se centran en la determinación del contenido de carbono presente bien en la vegetación (Muñoz-Rojas et al., 2011) o en la vegetación y el suelo de cada tipo de terreno (Adger et al., 1992; Ostle et al., 2009), considerando variabilidad a gran escala y dinámicas a largo tiempo de esos contenidos como consecuencia de cambios en el uso del terreno. En su interesante estudio, Milà i Canals et al. (2007) proponen una metodología para evaluar el impacto de estos UTCUTS dentro de la metodología del ACV. Apoyando esta iniciativa, Müller-Wenk & Brandao (2010) revisaron las estimas de contenidos y flujos de carbono en cambios de uso de territorio para los biomas más relevantes del mundo. Schmidinger & Stehfest (2012) muestran

una visión e conjunto de las diferentes aproximaciones para la inclusión de estos impactos por UTCUTS en los ACV, como parte del estado del arte de su propia propuesta. Todos estos desarrollos evidencian un interés creciente en este campo, aunque aun no hay consenso en el método a aplicar, al ser este tremendamente dependiente de la metodología de cálculo escogida y de la información de partida.

Los objetivos parciales de este capítulo incluyen el desarrollo de una metodología operativa para calcular el balance de CO<sub>2</sub> asociado a estos UTCUTS, dentro del objetivo general de evaluar las actividades de construcción y mantenimiento de infraestructuras lineales. Además, el alcance considerado abarca en primer lugar la oxidación del contenido de carbono en la vegetación y suelos eliminados o afectados por las actividades de construcción (temporal o permanentemente). En segundo lugar, incluye las capturas de CO<sub>2</sub> de los sistemas naturales establecidos (plantados o no) en las zonas recuperables durante la vida útil de la carretera.

La información básica que se necesita para elaborar este balance de emisiones que está asociado a cambios de uso del territorio se divide en dos partes. Por un lado, es necesario elaborar una categorización de los usos del territorio, que incluya, en una clasificación, todos los ecosistemas susceptibles de ser afectados por los proyectos, así como los resultantes tras la realización de los mismos (plantaciones, reforestaciones o suelo desnudo). Por otro lado, se necesita conocer el CO<sub>2</sub> que contienen en sus diferentes compartimentos (vegetación, suelo materia muerta...) estos ecosistemas, así como el que captan debido a su crecimiento/desarrollo, para poder realizar el balance neto de entradas-salidas. Será por último también importante tener unos criterios coherentes en la realización de los cálculos para garantizar la consistencia del método.

En resumen, en este capítulo se expondrá nuestra propuesta para la contabilización de las emisiones asociadas a estos sistemas naturales.

### ***3.1 Procedimiento para calcular balances de CO<sub>2</sub>***

El procedimiento para calcular el balance resultante de los cambios de uso de territorio está basado en la consideración de las diferencias netas entre el área ocupada por cada categoría implicada antes y después de la realización del proyecto de construcción. Es decir, se parte del

sistema natural que ocupaba el espacio transformado en el momento que se inicia el proyecto, contabilizando tanto las emisiones producidas durante su eliminación, como las absorbidas por el nuevo sistema implantado. La elección de este punto de partida es la más coherente con el ciclo de vida de la carretera (Mattila et al., 2011).

En nuestro modelo se asumen tanto la oxidación de todo el carbono del sistema natural en caso de pérdida de área ocupada por el sistema natural, como la inmediata fijación de carbono en caso de incrementos de la misma. Esta asunción metodológica es la aplicada en el INEGI (MARM, 2011), y corresponde con el Tier 1 propuesto por el IPCC en su Orientación sobre las buenas prácticas para UTCUTS (IPCC, 2003).

En el cálculo se consideran las superficies directamente afectadas, es decir, se tienen en cuenta tanto las superficies afectadas permanentemente (las que quedan cubiertas por estructuras) como las afectadas temporalmente (áreas auxiliares) por las actividades de construcción. En el primer caso, los sistemas naturales son sustituidos por superficies artificiales (firmes, estructuras...) sin contenido en carbono orgánico. En el segundo caso son sustituidos por nuevos sistemas naturales, aunque hay que subrayar que, en la mayoría de los casos, estos nuevos sistemas constituyen fases incipientes (con valores bajos de biomasa y materia orgánica del suelo) de las categorías de uso de territorio definidas para sistemas naturales maduros. Para analizar el CO<sub>2</sub> en la fase de mantenimiento de las calzadas es necesario además establecer una categorización de estos sistemas incipientes, y, en especial un método para determinar la captura de carbono durante la transición a los sistemas maduros correspondientes. Para la consecución de esta tarea se va a tener en cuenta, una vez más la metodología de la Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas para UTCUTS (IPCC, 2003), junto a las modificaciones para su aplicación en España (MARM, 2011).

En definitiva, el balance neto de CO<sub>2</sub> relativo al cambio de usos del suelo es la diferencia entre el CO<sub>2</sub> liberado por la eliminación de los sistemas naturales preexistentes menos la fijación de CO<sub>2</sub> resultante tanto del establecimiento de las plantaciones al final de la etapa de construcción como del desarrollo de estos sistemas a lo largo del periodo de vida útil considerado para la carretera (en principio, de 50 años). Este balance neto se sintetiza mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta_{50}C_{RP} = \sum_i (C_{LUA} + \Delta_{50}C_{LUA}) \cdot S_{LUA} - \sum_j C_{LUB} \cdot S_{LUB}$$

donde:

$\Delta_{50}C_{RP}$ : balance neto de CO<sub>2</sub> o cambio acumulado (50 años) en los depósitos de carbono (carbon stocks) de los usos del suelo (LU: land use) asociado al establecimiento de un proyecto de carretera (kg CO<sub>2</sub>);

$C_{LUA}$ : densidad de carbono en un uso del suelo posterior (after) a la etapa de construcción de la carretera (plantaciones de restauración), (kg CO<sub>2</sub>· m<sup>-2</sup>);

$\Delta_{50}C_{LUA}$ : incremento acumulado (50 años) del contenido de carbono por unidad de superficie de un uso del suelo posterior a la etapa de construcción de la carretera, es decir, a lo largo de la etapa de mantenimiento (kg CO<sub>2</sub>· m<sup>-2</sup>);

$C_{LUB}$ : densidad de carbono en un uso del suelo antes (before) de la construcción de la carretera (kg CO<sub>2</sub>· m<sup>-2</sup>).

$S_{LUA/LUB}$ : superficie eliminada o revegetada para cada tipo de uso de suelo (m<sup>2</sup>).

Multiplicando para cada uso del territorio el área eliminada o revegetada por la densidad de carbono correspondiente al sistema natural se obtendrá la cantidad total de CO<sub>2</sub> emitida o retirada de la atmósfera.

La aproximación que proponemos resulta adecuada en tanto que la herramienta pretende cubrir el objetivo de valorar el balance de CO<sub>2</sub> en la fase de diseño y de análisis de trazados alternativos de proyectos de carreteras, así como la comparación de diferentes opciones de restauración, facilitando la obtención de estimas que permitirían incorporar esta dimensión del impacto ambiental en la toma de decisiones. Por otra parte, si bien un desarrollo metodológico centrado en la estimación directa de la cantidad de biomasa y suelo que son eliminadas durante la realización del proyecto permitiría una estimación más precisa de las emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub>, esto implicaría asumir el esfuerzo técnico que esto requeriría y el consiguiente incremento de



costes para el proyecto, al tiempo que limitaría notablemente las opciones de aplicación de la herramienta. Además, es obvio que no se podría utilizar la misma aproximación para calcular las absorciones asociadas con la revegetación, por lo que emisiones y absorciones presentarían distinto grado de certidumbre.

### **3.2 Categorización**

En la contabilización del balance de GEIs en nuestra metodología, basada en cambios de uso del territorio, subyace la asignación de uno o varios sistemas naturales a una categoría de uso. La categorización de usos del suelo aplicada debe ser lo suficientemente detallada como para permitir la mayor precisión posible en la obtención del balance de carbono, pero lo suficientemente sintética como para asegurar su operatividad. Además, las categorías resultantes deben poder ser reconocidas en campo por personal no especializado, y guardar coherencia interna.

El marco de categorización elegido considera tanto usos forestales como agrícolas, así como las transiciones entre ellos. Nos basamos principalmente en las fuentes de información listadas en el apartado 2.4, utilizando como base las categorías del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos a escala 1:50.000 de España (MARM, 2009b), completándolo con las demás fuentes.

La escala utilizada (1:50.000) permite una resolución adecuada a las dimensiones de la superficie afectada por la construcción de una carretera en la fase de proyecto. El Mapa de Cultivos y Aprovechamientos es fácilmente accesible a través de Internet en modo visualización a través del Sistema de Información Geográfica Agraria, SIGA ([sig.marm.es/siga](http://sig.marm.es/siga)). Abarca todos los usos posibles del suelo con suficiente detalle, aportando información adicional que va a permitir una mejor estimación del balance de carbono. Las categorías básicas ofrecidas en el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos son categorías coherentes, es decir cubren el 100% de la superficie. Hacen especial referencia a las superficies cultivadas, incluyendo además información de la cubierta forestal tanto arbórea como de prados, pastizales y matorrales y, suelos sin vegetación bajo la denominación “improductivo”.

Estas categorías se subdividen a su vez aportando una mayor información relativa tanto a las especies cultivadas como a la intensidad del cultivo (incluyendo secano, regadío y si la labor es

intensiva o extensiva). Esto permite una mayor precisión para la caracterización de las diferentes categorías en términos del carbono que pueden almacenar. Sin embargo, esta subcategorización es excesiva, especialmente en lo relativo a cultivos leñosos y aprovechamientos forestales.

En consecuencia se decidió utilizar criterios adicionales de categorización para grandes grupos de categorías del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos (superficie cultivada, especies arbóreas y especies de matorrales y pastos), además de establecer las categorías correspondientes a las nuevas plantaciones.

### **3.2.1 Categorización de las superficies cultivadas**

Para la categorización de los cultivos y como fuente principal de información sobre la biomasa que contiene por unidad de superficie se recurrió al Anuario de Estadística Agroalimentaria y Pesquera (MARM, 2008) relativa a superficies, producciones y rendimientos. Como criterio adicional se fijó la formación de las categorías mediante la agrupación de cultivos con similares contenidos de carbono. El resultado de la adaptación de las categorías del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos se presenta en la tabla 3.1.

Para el caso de los cultivos herbáceos no siempre la producción del cultivo hace referencia a la totalidad de la planta, por lo que fue necesario realizar estimas o cálculos adicionales que permitan estimar la biomasa vegetal total por hectárea. Finalmente se separaron las labores de secano y regadío siendo necesario establecer una categoría separada para los arrozales.

En la categoría otros cultivos se incluyen cultivos relativamente poco extendidos y que agrupan especies y manejos que difieren de las categorías herbáceos y leñosos. El cultivo de espartal (espartizal) y los cultivos de aromáticas presentan estructuras semejantes a los espartales y matorrales naturales por lo que se asemejarán a formaciones de esparto y matorrales.

Por otra parte, para los cultivos leñosos agrupan a frutales, viñedos y olivares y dado que la mayor parte de la biomasa comprendida en estos cultivos la constituye la biomasa viva de los árboles, se ha preferido asimilarlos a categorías forestales, concretamente a la de olivar ya que, en gran medida, coinciden en estructura. Por lo tanto la metodología utilizada será la explicada para las formaciones forestales (ver más adelante). Sin embargo, las medidas de equivalentes de CO<sub>2</sub> en

el depósito del suelo sugirieron como más preciso presentar una categoría propia para frutales. Estas diferencias se basarían además en el distinto desarrollo medio que alcancen los árboles y en la densidad de la madera que puede diferir con la del olivo. El viñedo merece claramente una categoría diferenciada ya que la estructura y desarrollo de las viñas es más parecida a un arbusto que a la de un árbol y difiere, por tanto, claramente de la de los frutales.

**Tabla 3.1** Equivalencia entre las categorías de cultivos del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos (MARM, 2009b) y las usadas en el presente estudio. *Elaboración propia.*

Categorías utilizadas	Categorías Mapa de Cultivos y Aprovechamientos	Código Mapa
<b>Labor seco</b>	Secano con índice de ocupación >1	L
	Barbecho semillado	Ls
	Barbecho blanco	Lb
	Al Tercio	Lt
	Labor extensiva	Lp
<b>Labor regadío</b>	Caña de azúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> )	Ca
	Huerta	H
	Cultivos forzados	Cf
	Otros cultivos herbáceos	Ch
	Cultivos rotatorios en regadío	Clr
	Terrenos transformándose en regadío	Ti
<b>Frutales</b>	Limonero ( <i>Citrus limonum</i> , <i>C. limon</i> )	Li
	Mandarino ( <i>C. nobilis</i> , <i>C. deliciosa</i> )	Md
	Naranja ( <i>C. sinensis</i> )	Nj
	Naranja amarga ( <i>C. aurantium</i> , <i>C. amara</i> )	Nja
	Toronjo, pomelo, cidro, poncillero ( <i>C. paradisi</i> , <i>C. medica</i> )	Pm
	Albaricoquero ( <i>Prunus armeniaca</i> A. <i>vulgaris</i> )	Ab
	Algarrobo ( <i>Ceratonia siliqua</i> )	Ag
	Almendro ( <i>Prunus amygdalus</i> , <i>P. dulcis</i> , <i>P. communis</i> )	Al
	Aguacate ( <i>Persea gratissima</i> , <i>P. americana</i> )	At
	Cerezo, guindo ( <i>Prunus avium</i> , <i>P. cerassus</i> )	Ce
	Chirimoyo ( <i>Annona cherimolia</i> )	Chi
	Ciruelo ( <i>Prunus domestica</i> )	Ci
	Granado ( <i>Punica granatum</i> )	Gr
	Guayabo ( <i>Psidium guajava</i> )	Gy
	Higuera ( <i>Ficus carica</i> )	Hi
	Mango ( <i>Mangifera indica</i> )	Mn
	Manzano ( <i>Pirus malus</i> )	Ma
	Membrillero ( <i>Cydonia oblonga</i> , <i>C. vulgaris</i> )	Mb
	Melocotonero ( <i>Prunus persica</i> , <i>P. vulgaris</i> )	Me
	Níspero ( <i>Eriobotrya japonica</i> , <i>Mespilus germanica</i> )	Ni
	Nogal ( <i>Juglans regia</i> )	No
	Palmera datilera ( <i>Phoenix dactylifera</i> )	Pd
	Papayo ( <i>Carica papaya</i> )	Py
	Peral ( <i>Pirus communis</i> )	Pe
	Piña tropical ( <i>Ananas comosus</i> )	Pñ
	Platanera ( <i>Musa paradisiaca</i> , <i>M. sapientum</i> )	Pt
<b>Viñedo</b>	Viñedo ( <i>Vitis vinifera</i> )	V

### **3.2.2 Categorización de las superficies forestales**

La información relativa a formaciones vegetales forestales proporcionada por el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos a escala 1:50.000 de España se encuentra muy desagregada en subcategorías, proporcionando la cobertura o la ocupación de diferentes especies forestales y sus combinaciones. Dado que tal nivel de detalle imposibilitaba la construcción de una herramienta, se ha realizado una categorización basada en categorías procedentes del Inventario Forestal Nacional (MMA, 1998). Estas categorías (tabla 3.2) son más fácilmente identificables y coherentes con la información sobre depósitos de carbono en la biomasa viva. Las categorías hacen referencia a las formaciones forestales clasificadas por especie dominante. De esta forma se recogen no sólo las formaciones con una única especie dominante sino también aquellas que presentan dos o más especies codominantes. Las ventajas del Inventario Forestal Nacional son la categorización detallada; la posibilidad de reagrupar a un número asumible de categorías basándonos en la asignación de equivalentes de CO<sub>2</sub>; la elevada disponibilidad de información sobre la biomasa de estas formaciones; la posibilidad de corregir el contenido en equivalentes de CO<sub>2</sub> dependiendo del desarrollo de la masa (fracción de cabida cubierta) y la posibilidad de actualizar la información usando los sucesivos inventarios nacionales.

Aunque el Inventario Forestal Nacional reconoce 47 categorías de superficies cubiertas por árboles, las reagrupamos utilizando como criterio el contenido promedio de equivalentes de CO<sub>2</sub> y el hecho de que constituyan una unidad fácilmente reconocible. De esta forma se obtuvieron 19 categorías de uso del suelo cubierto de árboles. No obstante, es obvio que el grado de desarrollo que presenta la masa forestal, en especial en lo relativo a la fracción de cabida cubierta y, en cierta medida, al estado de la masa (fustal, latizal, monte bravo) influyen sobre el contenido de equivalentes de CO<sub>2</sub> dentro de una misma categoría. Para mejorar la adecuación de las categorías forestales a la realidad, se ha incorporado la posibilidad de ajustar la densidad de las formaciones forestales. Así, en primer lugar, se ha establecido la categoría de arbolado ralo y disperso, que representa las formaciones con fracción de cobertura arbórea del 5 al 19%, sin distinción de especies. Esta categoría sigue el criterio de la homónima en el Inventario Forestal Nacional (MMA, 1998). Para el resto de categorías arbóreas, se ha habilitado la opción de especificar la fracción de cobertura de copas entre tres intervalos: 20-39%, 40-69% y 70-100%.

**Tabla 3.2** Equivalencia entre las categorías forestales del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos (MARM, 2009b) y las usadas en el presente estudio. *Elaboración propia.*

Categorías utilizadas	Categorías Mapa de Cultivos y Aprovechamientos	Código Mapa
<b>Abietales, eucaliptares y pinares cantábricos y de montaña</b>	Pinsapo ( <i>Abies pinsapo</i> )	Api
	Pinabete, Abeto blanco ( <i>A. pectinata</i> , <i>A. alba</i> )	Ape
	Eucaliptos	Eu
	Eucalipto globulus ( <i>Eucalyptus globulus</i> )	Euq
	Eucalipto rostrata ( <i>E. rostratus</i> , <i>E. camaldulensis</i> )	Eur
	Otros eucaliptos	Eum
	Pino negral, ródano, marítimo ( <i>P. pinaster</i> )	Ppr
	Pino negro ( <i>P. uncinata</i> , <i>P. montaña</i> , <i>P. rotundata</i> )	Pu
	Pino silvestre, albar ( <i>P. sylvestris</i> )	Ps
	Pino insigne ( <i>P. radiata</i> )	Pi
<b>Bosque de ribera</b>	Aliso ( <i>Alnus glutinosa</i> , <i>A. cordata</i> )	An
	Sauce blanco ( <i>Salix alba</i> ), sauce ( <i>Salix</i> ssp)	Sa
	Olmo negrillo, ( <i>Ulmus glabra</i> , <i>U. minor</i> , <i>U. procera</i> )	Ul
	Olmo de Siberia ( <i>Ulmus pumila</i> )	Ul
	Fresno ( <i>Fraxinus excelsior</i> , <i>F. orno</i> , <i>F. angustifolia</i> )	Fr
<b>Castañar</b>	Castaño ( <i>Castanea sativa</i> , <i>C. vesca</i> , <i>C. vulgaris</i> )	Cs
<b>Chopera</b>	Chopo americano, o del Canadá ( <i>Populus x canadensis</i> )	Po
	Chopo boleana ( <i>P. alba</i> )	Po
	Chopo lombardo ( <i>P. nigra</i> )	Po
	Chopo temblón ( <i>P. tremula</i> )	Po
<b>Otras coníferas</b>	Abeto azul ( <i>Picea sitchensis</i> )	Psi
	Abeto Douglas ( <i>Pseudotsuga menziessii</i> )	Pse
	Abeto negro ( <i>Picea melanoxydon</i> )	Pm
	Abeto rojo ( <i>Picea excelsa</i> , <i>P. abies</i> , <i>Abies excelsa</i> )	Pex
	Cedro del Atlas ( <i>Cedrus atlantica</i> )	Ca
	Cedro del Himalaya ( <i>Cedrus deodara</i> )	Cd
	Pino banksiana ( <i>Pinus banksiana</i> )	Pb
	Pino weymouth ( <i>P. strobus</i> )	Pst
	Pino llorón del Himalaya ( <i>P. ariffithii</i> )	Pq
	Pino Douglas ( <i>P. douglasii</i> )	Pd
	Ciprés de Lawson ( <i>Chamaecyparis lawsoniana</i> )	Ci
	Ciprés ( <i>Cupressus lusitanica</i> , <i>C. sempervirens</i> , <i>C. macrocarpa</i> )	Cu
	Ciprés de los pantanos ( <i>Taxodium disticum</i> )	Td
	Araucaria ( <i>Araucaria excelsa</i> , <i>A. imbricata</i> )	Au
	Alerce ( <i>Larix europaea</i> , <i>L. leptolepis</i> )	La
	Tejo ( <i>Taxus baccata</i> )	Tb
	Tuya ( <i>Tetraclinis articulata</i> )	Te

**Tabla 3.2** (Continuación) Equivalencia entre las categorías forestales del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos (MARM, 2009b) y las usadas en el presente estudio. *Elaboración propia.*

Categorías utilizadas	Categorías Mapa de Cultivos y Aprovechamientos	Código Mapa
<b>Coníferas y frondosas varias</b>	Eucaliptos	Eu
	Eucalipto globulus ( <i>Eucalyptus globulus</i> )	Eug
	Eucalipto rostrata ( <i>E. rostratus</i> , <i>E. camaldulensis</i> )	Eur
	Otros eucaliptos	Eum
<b>Fayal-breza</b>	Fayal canario	FY
	Laurisilva canaria	Lr
	Brezo blanco, brezal atlántico canario ( <i>Erica arborea</i> )	Brz
<b>Hayedo</b>	Haya ( <i>Fagus sylvatica</i> )	Fs
<b>Olivar</b>	Olivar ( <i>Olea europaea</i> )	Ol
<b>Otras frondosas</b>	Roble americano ( <i>Quercus borealis</i> , <i>Q. rubra</i> )	Qb
	Roble de Turquía ( <i>Q. cerris</i> )	Qc
	Acacia ( <i>Acacia</i> sp.)	Aps
	Acacia de flor blanca, falsa acacia ( <i>Robinia pseudoacacia</i> )	Ac
	Acacia de tres púas, falsa acacia ( <i>Gleditsia triacanthos</i> )	Ac
	Sófora, acacia del Japón, falsa acacia ( <i>Sophora japonica</i> )	Ac
	Arce de Montpellier ( <i>Acer monspessulanum</i> )	Acr
	Arce ( <i>Acer pseudoplatanus</i> )	Acr
	Negundo, arce negundo ( <i>Acer negundo</i> )	Acr
	Almácigo ( <i>Pistacea atlantica</i> )	Alm
	Aligustre del Japón ( <i>Ligustrum japonicum</i> )	
	Acacia negra ( <i>Acacia melanoxylon</i> )	Am
	Abedul ( <i>Betula alba</i> , <i>B. verrucosa</i> , <i>B. pendula</i> , <i>B. celtiberica</i> )	Ba
	Agracejo, arlo ( <i>Berberis vulgaris</i> , <i>B. hispanica</i> )	Brz
	Espino blanco, endrino ( <i>Crataegus monogyna</i> )	Cr
	Castaño de Indias ( <i>Aesculus hippocastanum</i> )	
	Almez ( <i>Celtis australis</i> )	Ct
	Madroño ( <i>Arbustus unedo</i> )	Mñ
	Morera, moral ( <i>Morus alba</i> , <i>M. nigra</i> )	M
	Mostajo, serbal del cazador ( <i>Sorbus aria</i> , <i>S. aucuparia</i> )	Ms
	Palmera canaria ( <i>Phoenix canariensis</i> )	Phc
	Plátano de sombra ( <i>Platanus orientalis</i> , <i>P. occidentalis</i> )	Plt
	Tilo ( <i>Tilia vulgaris</i> , <i>T. platyphilos</i> )	Ti
<b>Pinares dominados por <i>P. halepensis</i> o <i>P. pinea</i></b>	Pino piñonero ( <i>P. pinea</i> )	Ppa
	Pino carrasco ( <i>P. halepensis</i> )	Phc
<b>Otros pinares</b>	Pino insigne ( <i>P. radiata</i> )	Pi
	Pino silvestre, albar ( <i>P. sylvestris</i> )	Ps
	Pino negral, ródano, marítimo ( <i>P. pinaster</i> )	Ppr
	Pino laricio, negral, clusiana ( <i>P. laricio</i> , <i>P. nigra</i> )	Pl
<b>Pino canario</b>	Pino canario ( <i>P. canariensis</i> )	Pc
<b>Quercus de hoja perenne</b>	Alcornoque ( <i>Q. suber</i> , <i>Q. occidentalis</i> )	Qs
	Encina, chaparra, carrasca ( <i>Q. ilex</i> , <i>Q. ballota</i> , <i>Q. rotundifolia</i> )	Qi
<b>Robledal eurosiberiano</b>	Roble albar ( <i>Q. sessiliflora</i> , <i>Q. petraea</i> )	Qss
	Roble común ( <i>Q. pedunculata</i> , <i>Q. robur</i> , <i>Q. extremadurensis</i> )	Qp
<b>Robledales y quejigares mediterráneos</b>	Rebollo, melojo, roble negral, tozo ( <i>Q. pyrenaica</i> , <i>Q. toza</i> )	Qt
	Quejigo, cajiga, carrascalejo, roble carrasqueño ( <i>Q. lusitanica</i> , <i>Q. faginea</i> , <i>Q. valentina</i> , <i>Q. alpestris</i> )	Ql, Qf
<b>Sabinar y sabinar con encinas</b>	Sabina albar ( <i>J. thurifera</i> )	Jth

### 3.2.3 Categorización de las superficies cubiertas por matorrales y herbáceas

La enorme diversidad de formaciones herbáceas y arbustivas podría sugerir un tratamiento tan detallado como el caso de las superficies forestales arboladas. Sin embargo, dado que su contenido en equivalentes de CO<sub>2</sub> va a ser inferior al de las superficies arboladas, y su reconocimiento más complicado a simple vista, decidimos que era posible establecer un menor número de categorías. Además, la información sobre el contenido en carbono de los diferentes depósitos es mucho menos abundante y mucho menos sistemático que para las superficies forestales por lo que no era posible proporcionar suficiente precisión para establecer categorías muy detalladas. Por otra parte, la información que se obtenía puntualmente sobre el contenido en carbono en estos sistemas hacía referencia a formaciones "representativas" del tipo de matorral estudiado, escaseando la información sobre variaciones en el contenido de carbono con la densidad o estado de desarrollo de la cubierta vegetal. Finalmente, no existía información detallada de las cubiertas de matorral o pastos en el mapa de cultivos y aprovechamientos, por lo que habría que recurrir a la inspección visual o a la información sobre vegetación (necesariamente heterogénea) proporcionada por las memorias de cada proyecto.

Las categorías hacen referencia al desarrollo de la biomasa aérea en etapas maduras; reflejan densidades elevadas de arbustos y las formaciones son fácilmente caracterizadas a partir del visionado o información botánica general de la zona de estudio.

Se establecieron cinco categorías de vegetación herbácea reflejando variaciones en la altitud (pasto de montaña versus pasto tipo) y el clima (pasto mediterráneo versus pastos eurosiberiano), apareciendo el espartizal como categoría propia. También se establecieron cuatro categorías de vegetación de matorral reflejando variaciones en la altura de la vegetación y, parcialmente, en el carácter rebrotador o no de la vegetación que intenta reflejar variaciones en el desarrollo de la biomasa subterránea (tabla 3.3).

Como resultado final de la categorización de sistemas naturales maduros se han creado 19 categorías de arbolado, una de arbolado ralo o incipiente, 5 de matorrales y 8 de vegetación herbácea (tabla 3.4).



**Tabla 3.3** Equivalencia entre las categorías de matorrales y herbáceas del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos (MARM, 2009b) y las usadas en el presente estudio. *Elaboración propia.*

<b>Categorías utilizadas</b>	<b>Categorías Mapa de Cultivos y Aprovechamientos</b>	<b>Código Mapa</b>
<b>Tomillares (&lt; 50 cm)</b>	Matorral	M
<b>Jarales (no rebrotadores &lt; 1 m)</b>	Matorral	M
<b>Brezales (rebrotadores &lt; 1 m)</b>	Matorral	M
<b>Coscojares / Tojal brezal (rebrotadores &gt; 1 m)</b>	Matorral	M
<b>Pastizal mediterráneo</b>	Prados naturales	Pr
	Prados regados eventualmente	Prr
	Pastizal	P
<b>Pastizal mediterráneo de montaña</b>	Pastizal de alta montaña	Pt
<b>Pastizal eurosiberiano</b>	Prados naturales	Pr
	Prados regados eventualmente	Pr
	Pastizal	P
<b>Pastizal eurosiberiano de montaña</b>	Pastizal de alta montaña	Pt
<b>Espartizal</b>	Espartal ( <i>Stipa tenacissima</i> , <i>Macrochloa tenacissima</i> )	Es

La asignación de las categorías correspondientes a los sistemas naturales afectados por cada proyecto puede estar basada en la información recogida en los informes del proyecto de construcción (en particular en el informe de impacto ambiental) y también, como mencionamos anteriormente, en la información cartográfica disponible a diferentes escalas (MARM 2009). Aunque las categorías definidas cubren la mayor parte de los casos, se pueden encontrar a menudo combinaciones de estas categorías, como puede observarse en la cartografía de referencia. Por ejemplo, aunque en bastantes formaciones forestales los estratos arbustivos o herbáceos están poco desarrollados o ausentes, en otras muchas, especialmente en la región mediterránea, estos estratos están bien desarrollados. Por consiguiente, se va a incluir la posibilidad de combinar las categorías anteriores para crear formaciones vegetales estructuralmente complejas. Por ejemplo, una categoría de arbolado puede ser usada como principal, añadiendo como secundarias una de matorral y otra de herbáceas, para simular un bosque con los tres estratos bien desarrollados. Es necesario considerar el porcentaje de ocupación relativa de cada tipo de vegetación sobre el total del área de esta categoría compleja, de acuerdo con lo que indique la cartografía.

**Tabla 3.4** Categorización de los sistemas naturales usada en este estudio. *Elaboración propia.*

Grupo	Denominación de la categoría
<b>Arbolado</b>	Abetales, Eucaliptares y Pinares cantábricos y de montaña
	Bosque de ribera
	Castañar
	Chopera
	Otras coníferas
	Coníferas y frondosas
	Eucaliptar mediterráneo
	Fayal - brezal
	Hayedo
	Olivar
	Otras Frondosas
	Pinares dominados por <i>P. halepensis</i> o <i>P. pinea</i>
	Otros pinares
	Pino canario
	<i>Quercus</i> de hoja perenne
	Robledal eurosiberiano
	Robledales y quejigares mediterráneos
	Sabinar y sabinar con encinas
	Frutales
<b>Arbolado ralo o incipiente</b>	Arbolado ralo y disperso
<b>Matorrales</b>	Tomillares - Matorral hasta medio metro
	Jarales - Matorral no rebrotador hasta un metro
	Brezales - Matorral rebrotador hasta un metro
	Coscojares - Tojal Brezal - Matorral rebrotador de más de un metro
<b>Herbáceas</b>	Viñedo
	Pastizal tipo mediterráneo
	Pastizal mediterráneo de alta montaña
	Pastizal tipo eurosiberiano
	Pastizal eurosiberiano de alta montaña
	Espartizal
	Labor secano
	Labor regadío
	Arroz

### 3.2.4 Categorización de las plantaciones

Dado que las medidas de restauración de una carretera implican la implantación de una nueva cubierta vegetal, se hace necesario establecer categorías que permitan obtener tanto la biomasa vegetal inicialmente instaurada como las captaciones de CO<sub>2</sub> que éstas realizarán durante la vida útil de la infraestructura. Las categorías propuestas intentan cubrir las formaciones y densidades típicas de este tipo de proyectos, aunque considerándolas, como dijimos anteriormente, fases incipientes de los sistemas naturales maduros. Dado que las plantaciones pueden realizarse a diferentes densidades, se hace necesario que la categorización tenga en cuenta variaciones tanto de la biomasa inicial implantada, como las posibles consecuencias para la vegetación madura que tendrá lugar una vez completamente instaurada.

Las categorías abarcarán las densidades de plantación típicas de los proyectos de restauración. Todas las categorías incluidas en los grupos arbolado y matorrales podrán alcanzarse a partir de las categorías del grupo arbolado ralo o incipiente. Para las formaciones herbáceas no es necesario establecer categorías de plantación ya que la biomasa inicial es muy baja y la biomasa definitiva se alcanza muy rápidamente y por tanto, se usaría directamente la categoría de sistema maduro correspondiente.

El resultado final de la clasificación de estas plantaciones enmarca la creación de 25 categorías de especies leñosas (tabla 3.5). Una corresponde a la plantación de árboles muy diseminados, que darán lugar a la mencionada categoría de arbolado ralo o disperso, 22 son plantaciones de categorías correspondientes a arbolado o matorral, con dos tipos de densidad (normal y baja), y los dos restantes se adscriben a frutales y viñas respectivamente, plantadas en la densidad normal de cultivo. Para plantaciones de olivos, no obstante, hemos conservado la posibilidad de variar la densidad, al poder aparecer estos olivos desde formaciones naturalizadas a jardinería.

La asignación de las plantaciones realizadas en un proyecto a las categorías consideradas en nuestra metodología puede basarse en información reflejada en la sección de restauración

ecológica de los informes de cada proyecto. De esta fuente se debe obtener tanto las especies usadas como la densidad de plantación.

**Tabla 3.5** Categorías de plantaciones. *Elaboración propia.*

Denominación de la categoría
Plantación de abetos, eucaliptos, pinos de rápido crecimiento en ambiente eurosiberiano
Plantación de árboles de ribera
Plantación de castaños
Plantación de álamos ( <i>Populus</i> sp.)
Plantación de otras coníferas
Plantación mixta de coníferas y frondosas
Plantación de eucaliptos en ambiente mediterráneo
Plantación de especies típicas de fayal-brezal y laurisilva canaria
Plantación de hayas
Plantación de olivos
Plantación de otras Frondosas
Plantación de <i>Pinus halepensis</i> o <i>P. pinea</i>
Plantación de otros pinos
Plantación de pino canario
Plantación de <i>Quercus</i> de hoja perenne
Plantación de robles eurosiberianos
Plantación de robles y quejigos mediterráneos
Plantaciones puras de sabinas o mixtas con encinas
Plantación de árboles dispersos
Plantación de matorral bajo (hasta medio metro)
Plantación de matorral no rebrotador de mediano desarrollo (hasta un metro)
Plantación de matorral rebrotador de mediano desarrollo (hasta un metro)
Plantación de matorral rebrotador de gran desarrollo (más de un metro)
Plantación de frutales
Plantación de viñedo

### **3.3 Determinación del contenido en carbono asociado a cada categoría**

Siguiendo el criterio de la Orientación del IPCC sobre Buenas Prácticas para UTCUTS (IPCC, 2003), a la hora de hallar el carbono contenido en cada categoría, se debe considerar la existencia de cinco depósitos o sumideros diferentes dentro del sistema natural: biomasa aérea,

biomasa subterránea, madera caída o muerta, detritos sobre el suelo y materia orgánica del suelo (tabla 3.6).

**Tabla 3.6** Depósitos de carbono en los sistemas naturales. *Basado en IPCC, 2003.*

Depósito	Definición
<b>Biomasa sobre el suelo</b>	Toda la biomasa viva que se encuentra sobre el suelo, con la inclusión de tallos, tocones, ramas, corteza, semillas y follaje.
<b>Biomasa bajo el suelo</b>	Toda la biomasa viva de raíces vivas. A veces se excluyen raíces finas de menos de 2 mm de diámetro porque con frecuencia no se pueden distinguir empíricamente de la materia orgánica del suelo o del mantillo
<b>Madera muerta</b>	Comprende toda la biomasa boscosa no viva contenida en el mantillo, ya sea en pie, superficial o en el suelo. La madera muerta comprende la que se encuentra en la superficie, raíces muertas y tocones (a partir de un diámetro elegible por el país)
<b>Detritos sobre el suelo (mantillo)</b>	Comprende toda la biomasa no viva con un diámetro inferior a un diámetro mínimo elegido por el país (p.ej. 10 cm), que yace muerta, en varios estados de descomposición sobre el suelo mineral u orgánico. Comprende las capas de detritus, fúmica y húmica. Las raíces finas vivas (de diámetro inferior a 2 mm) se incluyen en este compartimento cuando no se pueden distinguir empíricamente de él.
<b>Materia orgánica del suelo</b>	Comprende el carbono orgánico en suelos minerales y orgánicos (incluida la turba) a una profundidad especificada elegida por el país y aplicada coherentemente mediante las series cronológicas. Las raíces finas vivas (de diámetro inferior a 2 mm) se incluyen en este compartimento cuando no se pueden distinguir empíricamente de él.

La densidad de carbono en una categoría de uso del territorio  $C_{LU}$  ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) (válido tanto para antes como después de la construcción  $C_{LUA/LUB}$ ) se calcularía, de manera ligeramente simplificada según la siguiente ecuación:

$$C_{LU} = C_{LB} + C_{DW} + C_L + C_{SOM}$$

Donde:

$C_{LB}$  : Densidad de Carbono de la biomasa viva (aérea y subterránea) ( $\text{kgCO}_2 \text{ m}^{-2}$ )

$C_{DW}$  : Densidad de Carbono de la madera muerta ( $\text{kgCO}_2 \text{ m}^{-2}$ )

$C_L$  : Densidad de Carbono de los detritos sobre el suelo, ( $\text{kgCO}_2 \text{ m}^{-2}$ )

$C_{SOM}$  : Densidad de Carbono de la materia orgánica del suelo ( $\text{kgCO}_2 \text{ m}^{-2}$ )

Considerar todos estos depósitos por separado no solo permite obtener estimas más precisas, sino que también facilita el análisis de las medidas de gestión de los sistemas naturales de los proyectos. Por ejemplo, se podría considerar la reutilización de la tierra vegetal (que contiene C de detritos y de la materia orgánica del suelo) de las áreas desbrozadas, frente a desechar esta capa y sustituirla por nueva tierra vegetal; o bien se podría evaluar también usar los restos del desbroza (biomasa aérea y madera muerta) para producir energía en vez de simplemente descartarlos.

### 3.3.1 Carbono en la biomasa viva

Se ha estimado la densidad de Carbono en CO<sub>2</sub>e de la biomasa viva por unidad de área (C<sub>LB</sub>) en base a la siguiente ecuación:

$$C_{LB} = AB * (1 + R) * CF$$

Donde:

AB = Biomasa sobre el suelo, kg materia seca m<sup>-2</sup>

R = Índice raíz-vástago, adimensional

CF = Fracción de Carbono de la materia seca, kg CO<sub>2</sub> (kg materia seca)<sup>-1</sup>

Para determinar el contenido en carbono en la biomasa aérea (AB) en categorías forestales se ha usado los datos de volumen maderable con corteza (V) proporcionados por el Inventario Forestal Nacional (MMA, 1998). La categoría de frutales se ha asimilado a la de olivar.

$$AB = (V * D * BEF)$$

Donde:

AB = Biomasa sobre el suelo, kg m<sup>-2</sup>

V = Volumen maderable con corteza, m<sup>3</sup> m<sup>-2</sup>

D = Densidad media de la madera, kg materia seca (m<sup>3</sup>)

BEF = Factor de expansión de la biomasa para la conversión del volumen maderable con corteza en biomasa sobre el suelo, adimensional.

Los datos del volumen maderable con corteza han sido usados para estimar el contenido en CO<sub>2</sub> de la biomasa (tanto aérea como subterránea) por unidad de área, mediante la aplicación de los factores de expansión de la biomasa (BEF), la densidad media de la madera (D) y el índice raíz-vástago (R) usados en el INEGI (MARM, 2011). Estos factores han sido validados a nivel

internacional por la Cost Action 21 (MARM, 2011), especialmente los referidos a especies forestales en territorio español. Estos factores son de hecho más cercanos a la realidad que los valores por defecto del IPCC, siendo más conservativos que estos últimos. Tanto los datos obtenidos del Inventario como los factores de expansión están referidos a los valores típicos o medios de cobertura y edad de las formaciones arbóreas. Por tanto, el valor de CO<sub>2</sub>e obtenido también lo está. Para incorporar el efecto de las variaciones de densidad de las formaciones arbóreas, aparte de definir la categoría de arbolado ralo y disperso, se han calculado los valores medios de biomasa para los tres intervalos de cobertura arbórea considerados, y, basándonos en estos valores, se han definido los factores de corrección sobre el valor típico de la categoría para cada intervalo. Para coberturas entre 20-39% se aplica un factor de corrección de 0,5019; para las de 40-69% un factor de 0,9088 y para las de 70-100% se multiplica por un factor de 1,6383.

La biomasa de los cultivos herbáceos está basada en datos provenientes del Anuario de Estadística Agroalimentaria y Pesquera (MARM, 2008) relativo a áreas, producción y cultivos. En vez de asimilar la biomasa de los viñedos a la de alguna categoría de matorral, dada la poca área que estas ocupan sobre el total del terreno, se han usado estimas de biomasa procedentes de varias fuentes bibliográficas (Amorós, 2000; Centeno & Lissarague, 2007).

Los CO<sub>2</sub>e en la biomasa de las categorías de matorrales se han determinado por la media de los estudios empíricos publicados en el tema, recogiendo la información de C en biomasa aérea y total, así como la relación raíz-vástago (Cañellas & San Miguel, 1996; Cañellas & San Miguel, 2003; Casermeiro et al., 2002; Navarro, 2004; Soto & Diaz-Fierros, 1997; Terradas, 2001).

En el caso de las categorías de cultivos anuales, hemos obtenido datos del Anuario de Estadística Agroalimentaria y Pesquera (MARM, 2008), mientras que para las categorías de sistemas herbáceos, se ha usado también información de estudios empíricos (Acosta et al., 2001; Acosta, 2005; Puigdefabregas et al., 1999; Sebastià, 2007; Willot et al., 2000).

### **3.3.2 Madera Muerta**

Para determinar el contenido en CO<sub>2</sub>e del compartimento de madera muerta en bosques, dado que no existe bibliografía con mediciones adecuadas con datos referidos a bosques españoles, se ha estimado este contenido como equivalente al 25% del CO<sub>2</sub>e de la biomasa viva. Aunque este

valor es que se propone como máximo en la Orientación sobre Buenas Prácticas para UTCUTS (IPCC, 2003), se ha contrastado con otros valores en la bibliografía. Por ejemplo, en bosques de coníferas en Rusia y los EEUU (Krankina & Harmon, 1995) y en bosques caducifolios en Europa (Christensen et al., 2005) se han obtenido valores equivalentes a entre 20 y el 45% de la biomasa viva. Para las formaciones no arbóreas se ha considerado este compartimento como nulo, dado el hecho de que, para la mayor parte de matorrales y cultivos arbóreos (frutales, olivar), parece razonable que la madera muerta represente un porcentaje muy bajo del carbono total. Particularmente este compartimento se ha considerado 0 en sistemas herbáceos y cultivos anuales.

### 3.3.3 Detritos sobre el suelo

El compartimento de detritos sobre el suelo, referido a la materia orgánica muerta no integrada en el suelo (hojarasca, frutos caídos, humus...) no se dispone de información de calidad. Solo recientemente se han iniciado inventarios que cubrirán superficies representativas (Woodall et al., 2008). Para el caso de las categorías forestales, se ha empleado información de materia orgánica de estudios empíricos (Montoya & López-Arias, 1997) transformándola a contenido en Carbono con un factor de fracción de C por defecto de 0,5.

En cuanto a los cultivos, no se acumula humus ni hojarasca dadas las técnicas actualmente extendidas en nuestro país. De forma análoga, en la mayor parte de pastos, la tasa de descomposición es muy alta, por lo que este compartimento no tiene apenas desarrollo. El criterio que se ha adoptado es el de considerar nulo este compartimento en las formaciones no forestales.

Por lo expuesto anteriormente, no existe información básica suficiente para establecer una metodología básica con valores por defecto para estimar la variación del contenido de carbono en los depósitos de materia orgánica muerta. Por tanto, cuando se produce el cambio de uso del suelo, se asumirá que el carbono de los depósitos de detritos sobre el suelo y madera muerta se oxida completamente, tal y como recomienda el IPCC en estos casos (IPCC, 2003).

### 3.3.4 Materia orgánica del Suelo

El compartimento suelo tiene gran importancia en sistemas forestales, siendo considerado como el mayor depósito de C de estas formaciones (Heath et al., 2002). Con el objetivo de estimar



el contenido de C del suelo hasta una profundidad de 30 cm ( $C_{SOM}$ ) (IPCC, 2003), se aplica la ecuación:

$$C_{SOM} = SOC * BD * h$$

donde:

SOC = Concentración de Carbono en el suelo por unidad de masa,  $kgCO_2 (kg\text{ suelo})^{-1}$

BD = Densidad aparente del suelo,  $kg\text{ m}^{-3}$

h = Profundidad del suelo considerada, 0.3 m

Se han empleado datos empíricos de las diferentes categorías de arbolado (Montoya and López-Arias, 1997) , matorral (Aranda & Oyonarte, 2005; Ferran et al., 2005; Hernando Costa et al. 2002; Mariscal, 2008) , olivares (Mariscal, 2008), frutales y viñedos (Romanyà et al., 2007), pastizales (Romanyà et al., 2007; Puigdefabregas et al., 1999) y cultivos anuales (Pampolino et al., 2008; Romanyà et al., 2007). Se ha usado un factor de conversión de 0,5 en los casos en los que constaba únicamente el valor de materia orgánica. Cuando los valores de densidad aparente de suelo no estaban disponibles se ha utilizado un valor medio para suelos agrícolas (Ingaramo et al., 2003; Rodríguez et al., 2008; Sánchez-Girón, 2004)

### 3.3.5 Plantaciones

Para las diferentes categorías de plantaciones, se ha hallado la biomasa en base al tamaño y la densidad de las plantas utilizadas de forma habitual en la restauración de zonas afectadas por la construcción de carreteras. Hemos asumido el valor de la categoría "Plantación de árboles dispersos" ( $1,308\text{ kg CO}_2\text{ m}^{-2}$ ) para plantaciones hechas a densidad alta (un plantón cada  $8\text{ m}^2$ ) y un valor proporcionalmente menor ( $0,523\text{ kg CO}_2\text{ m}^{-2}$ ) para las de densidad baja (un plantón cada  $20\text{ m}^2$ ). Para plantaciones de matorral a densidad alta (un plantón cada  $5\text{ m}^2$ ) se ha usado un valor ( $0,720\text{ kg CO}_2\text{ m}^{-2}$ ) basado en la categoría "Tomillares <50 cm"; se asume por tanto una reducción alométrica en la biomasa viva dado que los plantones de matorral son de unos 30 cm de altura de media. Como antes, se ha calculado un valor proporcional ( $0,360\text{ kg CO}_2\text{ m}^{-2}$ ) para las plantaciones a densidad baja (una planta cada  $10\text{ m}^2$ ). Se han considerado de valor nulo los compartimentos de madera muerta y detritos sobre el suelo, al tratarse de plantaciones nuevas. Por último, el carbono del suelo se ha asimilado al único valor encontrado ( $11,166\text{ kg CO}_2\text{ m}^{-2}$ ) para tierra usada en

terraplenes de carretera (Tormo et al., 2009). Esta decisión está basada en el hecho de que el origen de la tierra vegetal varía según el sistema natural del que ha sido tomada. Además, hay casos en donde no se añade tierra vegetal en desmontes y no hay que pasar por alto que en el proceso de recogida, almacenamiento y reextensión de la tierra vegetal esta es volteada y aireada, dando lugar a pérdidas de carbono por oxidación en forma de emisiones de CO<sub>2</sub> (Kim, 2008; Reicosky, 2007).

### **3.4 Determinación del carbono secuestrado a largo plazo por los sistemas naturales**

Se ha modelizado el secuestro de C producido por el desarrollo de las plantaciones, a lo largo de los 50 años de vida útil de la carretera ( $\Delta_{50}C_{LUA}$ ) teniendo en cuenta dos periodos temporales. Un periodo inicial de 20 años, denominado “periodo de transición” propuesto por la Orientación sobre Buenas Prácticas del IPCC (2003) y un segundo periodo de 30 años hasta el final de la vida útil de la carretera. La ecuación sería la siguiente:

$$\Delta_{50}C_{LUA} = 20 * \Delta_1 C_{tp\ LUA} + 30 * \Delta_1 C_{gms\ LUA}$$

donde:

$\Delta_1 C_{tp\ LUA}$  = Cambio anual en la densidad de carbono de la categoría, durante los primeros 20 años tras la construcción (periodo de transición), (kg CO<sub>2</sub>)

$\Delta_1 C_{gms\ LUA}$  = Cambio anual en la densidad de carbono de la categoría, durante los 30 años siguientes al periodo de transición (periodo de crecimiento del sistema maduro), (kg CO<sub>2</sub>)

En este caso, para simplificar, se ha considerado los incrementos de CO<sub>2</sub>e sin hacer distinción entre compartimentos.

Existen métodos para calcular el crecimiento de la biomasa en plantaciones forestales intensivas, validados por el IPCC (2003) y adaptados al contexto español (MARM, 2011). Sin embargo, hasta los valores adaptados infieren un crecimiento demasiado alto para bordes de carreteras, donde las condiciones no son nada favorables para la vegetación (Mola, 2009, Kittelson et al., 2004; Troumbulak & Frissel, 2000; Jim, 1998). Por esta razón, se ha adoptado el sistema simple descrito en la ecuación para todas las plantaciones arbóreas, donde cada categoría pasa a ser la categoría madura equivalente a lo largo de los primeros 20 años. El crecimiento es interpretado como una tasa anual fija desde el comienzo de la plantación hasta 20 años más tarde

(estado de transición), cuando se considera que se alcanza el total de carbono almacenado en la categoría correspondiente de sistema natural maduro.

Diferentes densidades de plantación darán categorías con diferente cobertura arbórea, dependiendo de la tasa de crecimiento de las especies. Altas densidades de plantación de especies de rápido crecimiento darán categorías con coberturas del 40-69%, mientras sólo alcanzarán coberturas de 20-39% si proceden de especies de crecimiento lento (olivos, enebrales y sabinas y especies del género *Quercus*). Bajas densidades de plantación conducirán a la categoría de arbolado ralo y disperso (cobertura del 5-19%) en el caso de especies de crecimiento lento o a categorías con una cobertura de 20-39% cuando las especies tienen crecimiento rápido. Se debe recalcar que el valor inicial para calcular la tasa anual de crecimiento no es cero, al haber un contenido inicial de carbono (en el suelo y en los plantones) que ha sido cuantificado en la fase de construcción.

Una vez transcurridos los primeros 20 años, la metodología validada por el IPCC (2003) y también la seguida por el INEGI (MARM, 2011) requiere medidas de la acumulación de carbono. Para este fin, se han usado datos de incrementos anuales del volumen maderable con corteza de formaciones forestales provenientes del Inventario Nacional Forestal (MMA, 1998).

En el caso de los matorrales, basándonos en diferentes estudios empíricos, se propone una tasa nula de crecimiento para los matorrales de bajo porte (Márquez et al., 1989; Oechel & Reid, 1984) y una tasa baja para los de porte elevado (Cañellas & San Miguel, 2003).

Debe remarcarse que el secuestro de CO<sub>2</sub> propuesto supone un desarrollo adecuado de la vegetación, que no es seguro en el caso de restauraciones de taludes (Mola et al., 2009). Si la restauración falla, no solamente se oxida el carbono de la biomasa introducida en la plantación, también se pierde el carbono del suelo. Esto demuestra una vez más la importancia que tienen las decisiones de manejo tomadas durante la construcción y el mantenimiento de las carreteras.

Para finalizar, se muestran en las tablas 3.7, 3.8 y 3.9 los valores utilizados en los cálculos anteriores, referentes a las emisiones estimadas por depósito de carbono y las necesarias para el cálculo de las captaciones a largo plazo de carbono, para cada sistema natural analizado.

**Tabla 3.7** Valores estimados para cada categoría de los grupos de arbolado. *Elaboración propia.*

Denominación	Emisiones por compartimento					Captación anual (kgCO <sub>2</sub> )	Peso de biomasa vegetal (kg/m <sup>2</sup> )	Volumen vegetación (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
	Biomasa (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Madera muerta (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Detritos sobre el suelo (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Materia orgánica del suelo (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Total (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )			
Abetales, Eucaliptares y Pinares cantábricos y de montaña	15,77	6,31	1,37	39,14	62,58	1,25	21,50	89,73
Bosque de ribera	8,62	3,45	0,41	30,65	43,12	0,08	11,75	49,05
Castañar	19,55	7,82	0,56	62,11	90,04	1,03	26,66	111,27
Chopera	12,26	4,91	0,13	20,05	37,35	1,34	16,72	69,81
Otras coníferas	10,52	4,21	1,48	47,09	63,29	1,17	14,34	59,86
Coníferas y frondosas	9,03	3,61	1,08	44,17	57,89	0,36	12,31	51,39
Eucaliptar mediterráneo	2,51	1,00	1,01	22,87	27,39	0,47	3,42	14,27
Fayal-brezal	17,14	6,86	5,47	109,95	139,42	2,07	23,37	97,55
Hayedo	28,50	11,40	0,89	59,78	100,57	0,70	38,86	162,20
Olivar	3,06	0,00	0,00	22,50	25,56	0,03	3,34	17,42
Otras Frondosas	9,75	3,90	0,69	41,25	55,58	0,47	13,30	55,50
Pinares dominados por <i>P. halepensis</i> o <i>P. pinea</i>	6,31	2,52	1,61	47,47	57,91	0,24	8,60	35,89
Otros pinares	9,22	3,69	1,61	47,47	61,99	0,53	12,58	52,49
Pino canario	13,33	5,33	3,74	64,50	86,90	0,43	18,17	75,85
Quercus de hoja perenne	4,62	1,85	1,14	36,75	44,37	0,03	6,30	26,32
Robledal eurosiberiano	20,26	8,11	0,33	44,45	73,15	0,64	27,63	115,34
Robledales y quejigares mediterráneos	8,56	3,42	1,14	38,67	51,79	0,18	11,67	48,70
Sabinar y sabinar con encinas	2,62	1,05	0,70	38,68	43,05	0,05	3,57	14,90
Frutales	3,06	0,00	0,00	14,06	17,12	0,03	3,34	17,42
Arbolado ralo y disperso	1,31	0,52	0,09	28,05	29,97	0,04	1,78	7,45

**Tabla 3.8** Valores estimados para cada categoría de los grupos de matorral y herbáceas. *Elaboración propia.*

Denominación	Emisiones por compartimento					Captación anual (kgCO <sub>2</sub> )	Peso de biomasa vegetal (kg/m <sup>2</sup> )	Volumen vegetación (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
	Biomasa (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Madera muerta (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Detritos sobre el suelo (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Materia orgánica del suelo (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Total (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )			
Tomillares / Matorral < 50cm	3,30	0,00	0,30	19,90	23,50	0,00	3,60	18,78
Jarales / Matorral no rebrotador <1m	4,95	0,00	0,53	36,39	41,87	0,00	5,40	28,17
Brezales / Matorral rebrotador <1m	6,75	0,00	0,78	52,96	60,48	0,00	7,36	38,40
Coscojares-Tojal Brezal / Matorral rebrotador >1m	12,47	0,00	1,05	76,62	90,14	0,03	13,60	70,96
Viñedo	1,38	0,00	0,00	15,47	16,84	0,00	1,50	7,83
Pastizal tipo mediterráneo	2,37	0,00	0,12	32,81	35,30	0,00	3,28	4,62
Pastizal mediterráneo de alta montaña	5,96	0,00	0,12	56,24	62,32	0,00	6,50	9,15
Pastizal tipo eurosiberiano	4,67	0,00	0,12	63,53	68,32	0,00	5,10	7,18
Pastizal eurosiberiano de alta montaña	3,75	0,00	0,12	63,53	67,40	0,00	4,10	5,77
Espartizal	1,40	0,00	0,00	11,50	12,90	0,00	1,53	2,15
Labor seco	0,83	0,00	0,00	18,28	19,11	0,00	0,91	1,28
Labor regadío	5,94	0,00	0,00	18,28	24,21	0,00	6,48	9,12
Arroz	5,94	0,00	0,00	30,09	36,03	0,00	1,99	2,80

**Tabla 3.9** Valores estimados para cada categoría de plantaciones. *Elaboración propia.*

Denominación	Emisiones por compartimento				Total (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Captación anual (kgCO <sub>2</sub> )
	Biomasa (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Madera muerta (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Detritos sobre el suelo (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Materia orgánica del suelo (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )		
Plantación de abetos, eucaliptos, pinos de rápido crecimiento en ambiente eurosiberiano	1,31	0,00	0,00	11,17	12,47	2,22
Plantación de árboles de ribera	1,31	0,00	0,00	11,17	12,47	1,34
Plantación de castaños	1,31	0,00	0,00	11,17	12,47	3,47
Plantación de álamos ( <i>Populus</i> sp.)	1,31	0,00	0,00	11,17	12,47	1,07
Plantación de otras coníferas	1,31	0,00	0,00	11,17	12,47	2,25
Plantación mixta de coníferas y frondosas	1,31	0,00	0,00	11,17	12,47	2,01
Plantación de eucaliptos en ambiente mediterráneo	1,31	0,00	0,00	11,17	12,47	0,62
Plantación de especies típicas de fayal-brezal y laurisilva canaria	1,31	0,00	0,00	11,17	12,47	5,71
Plantación de hayas	1,31	0,00	0,00	11,17	12,47	3,95
Plantación de olivos	1,31	0,00	0,00	11,17	12,47	0,02
Plantación de otras Frondosas	1,31	0,00	0,00	11,17	12,47	1,90
Plantación de <i>Pinus halepensis</i> o <i>P. pinea</i>	1,31	0,00	0,00	11,17	12,47	2,01
Plantación de otros pinos	1,31	0,00	0,00	11,17	12,47	2,19
Plantación de pino canario	1,31	0,00	0,00	11,17	12,47	3,33
Plantación de <i>Quercus</i> de hoja perenne	1,31	0,00	0,00	11,17	12,47	0,49
Plantación de robles eurosiberianos	1,31	0,00	0,00	11,17	12,47	2,70
Plantación de robles y quejigos mediterráneos	1,31	0,00	0,00	11,17	12,47	1,73
Plantaciones puras de sabinas o mixtas con encinas	1,31	0,00	0,00	11,17	12,47	0,46
Plantación de árboles dispersos	0,21	0,00	0,00	11,17	11,38	0,93
Plantación de matorral bajo (hasta medio metro)	0,72	0,00	0,00	11,17	11,89	0,58
Plantación de matorral no rebrotador de mediano desarrollo (hasta un metro)	0,72	0,00	0,00	11,17	11,89	1,50
Plantación de matorral rebrotador de mediano desarrollo (hasta un metro)	0,72	0,00	0,00	11,17	11,89	2,43
Plantación de matorral rebrotador de gran desarrollo (más de un metro)	0,72	0,00	0,00	11,17	11,89	3,91
Plantación de Frutales	1,31	0,00	0,00	11,17	12,47	0,15
Plantación de Viñedo	0,72	0,00	0,00	11,17	11,89	0,25

**Tabla 3.9** Valores estimados para cada categoría de plantaciones (continuación) *Elaboración propia.*

Denominación	Emisiones por compartimento					Captación anual (kgCO <sub>2</sub> )
	Biomasa (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Madera muerta (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Detritos sobre el suelo (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Materia orgánica del suelo (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Total (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	
Plantación poco densa de abetos, eucaliptos, pinos de rápido crecimiento en ambiente eurosiberiano	0,52	0,00	0,00	11,17	11,69	2,26
Plantación poco densa de árboles de ribera	0,52	0,00	0,00	11,17	11,69	1,37
Plantación poco densa de castaños	0,52	0,00	0,00	11,17	11,69	3,51
Plantación poco densa de álamos ( <i>Populus</i> sp.)	0,52	0,00	0,00	11,17	11,69	1,11
Plantación poco densa de otras coníferas	0,52	0,00	0,00	11,17	11,69	2,29
Plantación poco densa mixta de coníferas y frondosas	0,52	0,00	0,00	11,17	11,69	2,05
Plantación poco densa de eucaliptos en ambiente mediterráneo	0,52	0,00	0,00	11,17	11,69	0,66
Plantación poco densa de especies típicas de fayal-brezal y laurisilva canaria	0,52	0,00	0,00	11,17	11,69	5,75
Plantación poco densa de hayas	0,52	0,00	0,00	11,17	11,69	3,99
Plantación poco densa de olivos	0,52	0,00	0,00	11,17	11,69	0,06
Plantación poco densa de otras Frondosas	0,52	0,00	0,00	11,17	11,69	1,94
Plantación poco densa de <i>Pinus halepensis</i> o <i>P. pinea</i>	0,52	0,00	0,00	11,17	11,69	2,05
Plantación poco densa de otros pinos	0,52	0,00	0,00	11,17	11,69	2,23
Plantación poco densa de pino canario	0,52	0,00	0,00	11,17	11,69	3,36
Plantación poco densa de <i>Quercus</i> de hoja perenne	0,52	0,00	0,00	11,17	11,69	0,53
Plantación poco densa de robles eurosiberianos	0,52	0,00	0,00	11,17	11,69	2,74
Plantación poco densa de robles y quejigos mediterráneos	0,52	0,00	0,00	11,17	11,69	1,77
Plantaciones poco densa de sabinas puras o con encinas	0,52	0,00	0,00	11,17	11,69	0,50
Plantación poco densa de matorral bajo	0,36	0,00	0,00	11,17	11,53	0,30
Plantación poco densa de matorral no rebrotador de mediano desarrollo	0,36	0,00	0,00	11,17	11,53	0,99
Plantación poco densa de matorral rebrotador de mediano desarrollo	0,36	0,00	0,00	11,17	11,53	1,69
Plantación poco densa de matorral rebrotador de gran desarrollo	0,36	0,00	0,00	11,17	11,53	2,80

## **4 Responsabilidad de las emisiones**

### ***4.1 Necesidad de asignación de responsables***

En la primera reunión de la Conferencia de las Partes de Naciones Unidas para el Cambio Climático (CPNUCC) se llegó al acuerdo de que, para hacer frente a un problema global como el cambio climático, hay que tomar responsabilidades ante las emisiones producidas por cada país. Para ello, se comprometieron, entre otras medidas, a presentar anualmente inventarios nacionales de GEIs ante la CPNUCC (Naciones Unidas, 1992) con los que dimensionar la magnitud del problema y tomar conciencia de su contribución. Además, se obliga a los países desarrollados a tomar medidas y establecer políticas para mitigar el cambio climático, sin especificar cuáles. La CPNUCC considera al cambio climático un problema de responsabilidad común pero diferenciada, donde la responsabilidad se debe asignar basándose en la diferente contribución de cada parte al problema (esto es, basándose en sus emisiones presentes pero también las emitidas en el pasado) (Page, 2008).

El protocolo de Kioto, por el cual los países firmantes se comprometieron a reducir con objetivos cuantificados sus emisiones, hace responsable de este cumplimiento ante la CPNUCC a “las Partes incluidas en el Anexo I” (Naciones Unidas, 1998), es decir, a los países desarrollados que firmaron el protocolo. En esta primera fase, no afecta a los países en vías de desarrollo al entenderse que los países industrializados son responsables de la mayor parte del carbono antropogénico liberado a la atmósfera hasta el momento de firmarse el tratado.

Para llegar a los objetivos de reducción de emisiones a los que se ha comprometido, los países desarrollados pueden utilizar diversos métodos. Algunos han mantenido este compromiso sólo a nivel de estado, tomando la responsabilidad de todas las emisiones como país, mientras que otros han preferido delegar parte de esta responsabilidad en sus ciudadanos y empresas, mediante impuestos, o mercados de emisiones.

En el ámbito europeo, a propuesta de la UE, se ha optado por obligar las empresas más contaminantes a controlar y reducir sus emisiones, como mecanismo para reducir las emisiones de los países miembros. Esta obligación está limitada en su alcance a unos pocos sectores (véase tabla



4.1) cuyas emisiones producidas son fáciles de calcular y verificar, porque emiten un volumen de emisiones grande en un número reducido de instalaciones (Unión Europea, 2003).

**Tabla 4.1** Listado de actividades sujetas a control de emisiones en la UE según las directivas 2003/87/CE y 2009/29/CE. Las actividades en negrita están incluidas a partir del 1/1/2013. El único gas a controlar en todas ellas es el CO<sub>2</sub> excepto \* CO<sub>2</sub> y PFCs y \*\* CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O. Fuente: Unión Europea (2003) y (2009c).

**- Actividades energéticas**

- Instalaciones de combustión con una potencia térmica nominal superior a 20 MW.
- Refinerías de hidrocarburos.
- Coquerías.

**- Producción y transformación de metales férreos**

- Instalaciones de calcinación o sinterización de minerales metálicos incluido el mineral sulfurado.
- Instalaciones para la producción de arrabio o de acero.
- **Producción y transformación de metales férreos (como ferroaleaciones), no férreos y aluminio secundario cuando se explotan unidades de combustión con una potencia térmica nominal superior a 20 MW.**
- Producción de aluminio primario. \*

**- Industrias minerales**

- Instalaciones de fabricación de cemento sin pulverizar ("clinker"), o de cal.
- Instalaciones de fabricación de vidrio incluida la fibra de vidrio.
- Instalaciones para la fabricación de productos cerámicos mediante horneado, en particular de tejas, ladrillos, ladrillos refractarios, azulejos, gres cerámico o porcelanas.
- Fabricación de material aislante de lana mineral utilizando cristal, roca o escoria.
- Secado o calcinación de yeso o producción de placas de yeso laminado y otros productos de yeso, cuando se explotan unidades de combustión con una potencia térmica superior a 20 MW.

**- Otras actividades**

- Instalaciones industriales destinadas a la fabricación de:
  - a) pasta de papel a partir de madera o de otras materias fibrosas
  - b) papel y cartón
  - c) **fabricación de ácido nítrico, adípico, de glioxal y glioxílico \*\***
  - d) **amoníaco, hidrógeno (H<sub>2</sub>), carbonato sódico (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) y bicarbonato de sodio (NaHCO<sub>3</sub>)**
- **Instalaciones de captura y almacenamiento geológico de GEIs, así como gaseoductos para el transporte de GEIs entre estas instalaciones.**
- **Vuelos con origen y destino en un aeródromo situado en el territorio de un Estado miembro al que se aplica el Tratado.**

En vez de optar por leyes que graven con impuestos la tonelada de emisiones, se ha optado por establecer un mercado de derechos de emisión de CO<sub>2</sub> (EU ETS por sus siglas en inglés), de obligada participación por parte de estas empresas. Las empresas deben tener, cada año, derechos de emisión equivalentes a todas sus emisiones. El número de derechos de emisión en el mercado se va reduciendo año a año por ley, con el objetivo de cumplir con Kioto en 2012 de forma escalonada. Al crear escasez en el mercado, se obliga a estas empresas europeas a disminuir sus emisiones globales, a la vez que se premia a las empresas con “superávit” de CO<sub>2</sub>, ya que pueden venderlo a precio más caro a las que necesitan más derechos de emisión para cumplir el objetivo (Unión Europea, 2003).

Este mecanismo de mercado busca incentivar a las empresas a reducir emisiones por la vía económica permitiendo una cierta flexibilidad, ya que la reducción de emisiones que se debe dar en una actividad industrial no tiene por qué darse en todas las empresas del ramo. Sin embargo, si una empresa emite más de lo asignado tendrá que comprarles a las demás derechos de emisión sobrantes para cumplir la ley. No obstante, en la práctica, este mercado no ha terminado de funcionar del todo bien, al haber exceso de derechos de emisión en el mercado, lo que ha provocado que el precio del Carbono se desplomase a finales del periodo 2008/12 (SENDECO2, 2012). Por esta razón, se han replanteado las normas del EU ETS de cara al siguiente periodo que empieza en 2013 (Comisión de la Unión Europea, 2008; Unión Europea, 2009c)

Todas éstas medidas tomadas a escala internacional se enmarcan en la lucha contra el cambio climático, mediante la concienciación y la toma de responsabilidades. La principal ventaja que tiene el hecho de hacerse cargo de esta responsabilidad y traspasarla en parte a la sociedad es que, además de concienciar, se fuerza a actuar ante un problema que no se considera cercano y cuyas consecuencias se verán a medio y largo plazo. Solamente tomando responsabilidad de las emisiones de GEIs se incentiva la reducción de emisiones. Éste es un paso previo para que las emisiones puedan tener un coste económico. En el fondo, tomar responsabilidad es un paso necesario para internalizar los costes ambientales, en este caso los producidos por el cambio climático, en la economía.

## **4.2 Aproximaciones existentes al problema**

Como vimos en el capítulo de introducción, existen diferentes perspectivas a la hora de contabilizar y asignar emisiones de GEIs. En primer lugar, está la perspectiva de responsabilidad de los productores, cuyo ejemplo más significativo son los Inventarios Nacionales de GEIs, necesarios entre otras cosas para cumplir con el Protocolo de Kioto. En estos Inventarios Nacionales cada país asume la responsabilidad de las emisiones dentro de sus fronteras. Siguiendo esta aproximación se encuentran las huellas de CO<sub>2</sub> a nivel de empresas u organizaciones, donde la organización contabiliza y asume las emisiones causadas por sus actividades en un periodo temporal –que suele ser también de un año–, independientemente de dónde se hayan producido aquéllas. Estas aproximaciones responsabilizan únicamente a los productores, ya sea con un límite territorial o de organización.

Este enfoque de responsabilidad de los productores es el que tomó la UE para organizar el mercado de carbono, por ser la manera más sencilla de actuar en los principales focos de emisión. Según la directiva 2003/87/CE (Unión Europea, 2003), traspuesta en España mediante la Ley 1/2005 (España, 2005), las empresas son responsables legalmente de las emisiones generadas en sus instalaciones fijas, bien provengan de combustiones o sean emisiones independientes del consumo de energía (por ej. las emisiones de proceso, resultado de reacciones químicas). Sin embargo, las empresas no son responsables de las emisiones indirectas, ni siquiera de las producidas para generar la energía eléctrica usada en los procesos industriales. No se toman tampoco en cuenta las emisiones de instalaciones móviles (vehículos, maquinaria móvil...). En principio solo se contabilizaban en este mercado las emisiones de CO<sub>2</sub>, añadiéndose ciertos GEIs (N<sub>2</sub>O, PFCs) en unas pocas industrias (ver tabla 4.1) para el periodo que empieza en 2013 (Unión Europea, 2009).

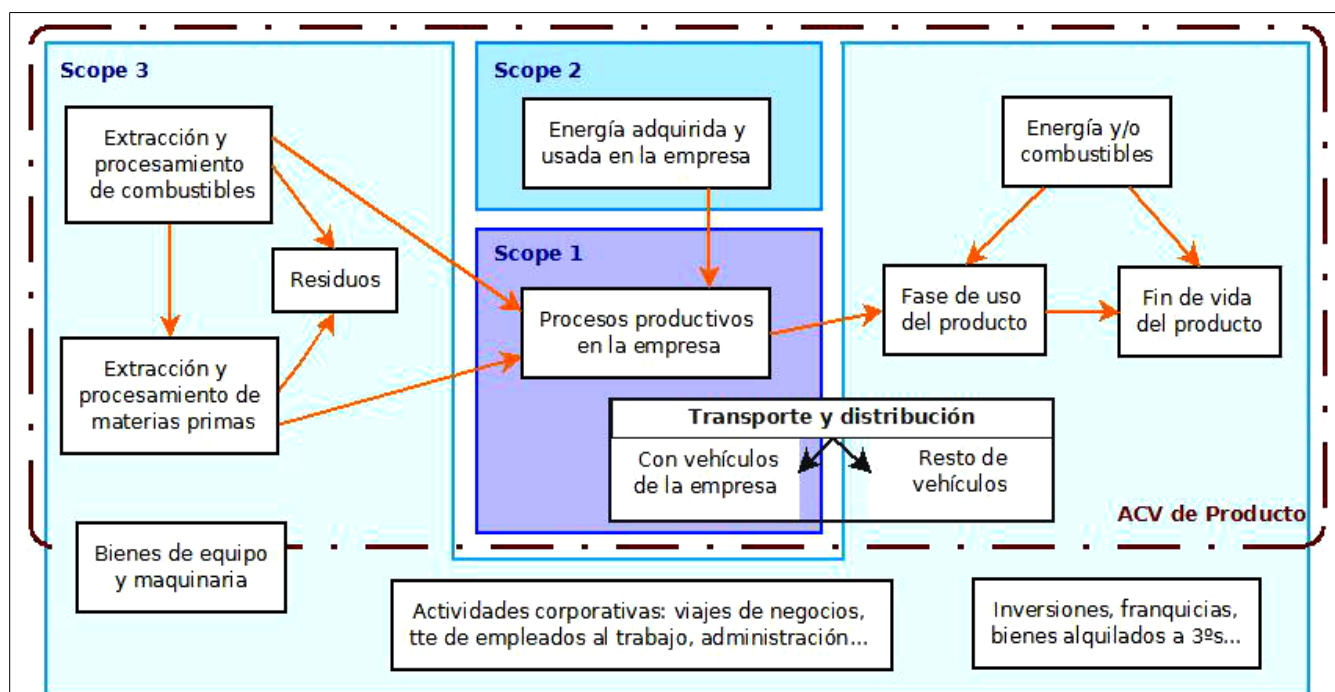
En muchos de los sectores de la economía donde actualmente no existe aún ninguna regulación sobre emisiones de CO<sub>2</sub>, las empresas están tomando no obstante responsabilidad de sus emisiones, encuadrando el tema dentro de su estrategia de Responsabilidad Social Empresarial o Corporativa (RSE o RSC). La RSE, sobre todo en las grandes empresas está cobrando una gran importancia dentro de la estrategia de marketing y posicionamiento en los mercados (WBCSD & WRI, 2004). Las emisiones de GEIs, dentro de la política ambiental, son un tema relevante a tratar con los “stakeholders”, (todas las partes interesadas o que guardan relación con una empresa). El

carácter no obligatorio de las medidas de RSE hace necesario, para poder homogeneizar los criterios de contabilidad de emisiones, la aparición de estándares voluntarios, GHG Protocol, PAS 2060 y la ISO 14064 como ya mencionamos en el capítulo 1. Además, se están poniendo en marcha, de forma paralela al EU ETS, una serie de mercados voluntarios donde empresas no reguladas por la directiva 2003/87/CE pueden compensar y certificar sus emisiones, siempre que estén verificadas según un estándar determinado.

Por tanto, tomaremos estos estándares como referencia en la asignación de emisiones en sectores no regulados por ley. El GHG Protocol en su guía para organizaciones establece tres niveles de alcance (scopes) a la hora de contabilizar y asignar las emisiones, que coinciden con los niveles del PAS 2060 (BSI, 2010). La responsabilidad de las organizaciones recae únicamente sobre las emisiones del Nivel 1 (Scope 1), es decir, de las generadas directamente en los procesos productivos de la empresa (combustiones y emisiones de proceso) y en el transporte de género en los vehículos de la empresa. Esto es bastante similar a lo dictado en la directiva 2003/87/CE, solo que se añade el transporte propio. Las emisiones producidas para la generación de energía eléctrica, calor, frío o vapor adquiridos a un tercero y usados en la empresa (Nivel 2) son responsabilidad directa de quien los produce pero, al mismo tiempo deben ser contabilizadas como emisiones indirectas de la empresa que usa esta energía. El resto de emisiones, aguas arriba y abajo en la cadena del producto son englobadas en el Nivel 3; aun siendo también emisiones indirectas, los estándares anteriormente mencionados solo aconsejan su cálculo, siendo éste optativo. En la figura 4.1 se muestra con más detalle el alcance de estos niveles, así como el alcance típico de los ACVs de producto que veremos a continuación.

Por otro lado, está el enfoque de ACV de productos o servicios, seguido también en los estándares de huella de carbono de productos (PAS 2050, GHG Protocol e ISO 14067) y en declaraciones ambientales de producto (EPD por sus siglas en inglés). Esta perspectiva tiene en cuenta todos los impactos a lo largo del ciclo de vida, pero no suele atribuir la responsabilidad a cada uno a sus causantes; más bien prima una visión de conjunto del servicio o producto y asume que la responsabilidad respecto de las emisiones del mismo recae únicamente sobre el consumidor (Lenzen et al., 2007). El alcance en la asignación de responsabilidades está esencialmente centrado

en la cadena de producto, dejando fuera a menudo las actividades de las empresas no relacionadas directamente con la producción (figura 4.1).



**Figura 4.1** Alcance de la asignación de responsabilidades según los estándares de huella de carbono de organizaciones (scopes, en azul) y de producto (marrón). *Basado en WRI & WCD (2011b)*

Si bien la tendencia a no desglosar responsables a lo largo del ciclo es general (sobre todo en las fases de producción), últimamente se vienen desarrollando huellas “de la puerta a la puerta” en las que se separan los impactos producidos por los distintos agentes en el ciclo de vida de los productos. En estos casos, por tanto, se podrían atribuir responsabilidades también sobre los productores (Berzosa, 2011), o repartir esa responsabilidad entre productores y consumidores.

Se han formulado además varias propuestas en esta línea de repartir la responsabilidad entre productores y consumidores (Andrew & Forgie, 2008; Bastianoni et al., 2004; Gallego & Lenzen, 2005; Lenzen et al., 2007; Rodrigues et al., 2006). Hay dos propuestas principales, que evitan la doble contabilidad de emisiones (que consiste en la asignación de las mismas emisiones a dos responsables, en este caso al productor y al consumidor). La primera, de Bastianoni et al. (2004), se basa en dar mayor responsabilidad a los eslabones finales de la cadena, dado que estos tienen mayor capacidad de decisión ante el uso de unos productos u otros. Este objetivo lo consigue relativizando, para cada paso de la cadena del producto, las emisiones acumuladas hasta ese

momento (las emisiones producidas más las “heredadas”) respecto al sumatorio de las emisiones acumuladas en toda la cadena (tabla 4.2).

La otra propuesta, de Lenzen et al. (2007), se basa en repartir la responsabilidad en base al valor añadido que aporta al producto cada eslabón de la cadena de producción, y de modo que las emisiones que, al final de la cadena, no quedan asignadas a ningún productor, son atribuidas al consumidor (tabla 4.2). Para ello se ha de conocer el precio en cada etapa de la fabricación del producto, y sobre todo, el porcentaje que supone en ese precio el valor añadido que aporta cada productor: éste es el porcentaje de las emisiones que produce más las que “hereda” que se atribuye al productor en cada paso, mientras que el resto se traspasa al siguiente agente en la cadena (en última instancia al consumidor). La razón que los autores esgrimen para justificar esta propuesta es que -dentro de la cadena de valor- las empresas que confieren mayor valor añadido al producto son las que tienen mayor poder de decisión sobre el proceso de producción, por lo que pueden tener mayor influencia en el control o reducción de las emisiones del producto (Lenzen et al., 2007).

En la tabla 4.2 se ilustra, mediante un ejemplo, las diferencias entre los diferentes métodos de asignación expuestos hasta este momento.

**Tabla 4.2** Aplicación de los diferentes métodos de asignación de responsabilidades en un ejemplo figurado de producto (bebida de zumo). *Basado en Wiedmann & Lenzen (2006), Bastianoni et al. (2004).*

Perspectiva	Kioto, PNADE...	ACV producto	Bastianoni et al.		Lenzen et al.	
Atribución de las emisiones	Productor	Consumidor	Compartida		Compartida	
Cadena de valor	Emisiones atribuidas	Emisiones atribuidas	Emisiones acumuladas	Emisiones atribuidas	Valor del producto (Valor añadido)	Emisiones atribuidas
Extracción de arena	20	0	20	$20/338 \times 84 = 5$	1,6 (0,4)	$20 \times 25\% = 5$
Fabricación de vidrio	50	0	70	$70/338 \times 84 = 17,4$	3,2 (1,6)	$(15+50) \times 50\% = 32,5$
Fabricación del envase	10	0	80	$80/338 \times 84 = 19,9$	5,3 (2,1)	$(32,5+10) \times 40\% = 17$
Obtención y envasado del zumo	4	0	84	$84/338 \times 84 = 20,85$	21,3 (16,0)	$(25,5+4) \times 75\% = 22,1$
Consumidor Final	0	84	84	$84/338 \times 84 = 20,85$		7,4
<b>Sumatorio</b>	<b>84</b>	<b>84</b>	<b>338</b>	<b>84</b>		<b>84</b>

### 4.2.1 Consistencia de estas aproximaciones

Una vez presentadas las diferentes aproximaciones, vamos a señalar los puntos fuertes y débiles de cada una, para discutir después un posible esquema de asignación de responsables en los proyectos de infraestructuras. Antes de nada, comentar que los puntos de vista anteriormente mostrados difieren en una serie de aspectos fundamentales, como el ámbito o el alcance, el público al que van dirigidos y, por supuesto, la normativa y estándares que son aplicados en cada caso. Un resumen de los mismos se expone en la tabla 4.3.

**Tabla 4.3** Características principales del alcance de las perspectivas sobre asignación de responsabilidades analizadas hasta el momento. *Elaboración propia.*

Perspectivas	Inventario	PNADE	Huella de Carbono de Organización	Huella de Carbono de Producto	Lenzen et al. Bastianoni et al
<b>Responsabilidad</b>	Productores	Productores	Productores	Consumidor	Compartida
<b>Temporalidad</b>	1 año	1 año	1 año	Vida del producto	Vida del producto
<b>Ámbito</b>	Territorio	Organización	Organización	Producto/Servicio	Producto/Servicio
<b>Diferenciación de responsables</b>	Entre sectores de la economía	Sólo las propias de la organización	Sólo las propias de la organización	Rara vez	Sí
<b>Público al que va dirigido</b>	CPNUCC y población en general	Admón y propia empresa	Stakeholders de la organización	Consumidores	Consumidor y productores
<b>Leyes, normativas y estándares</b>	CMNUCC 1992	Ley 1/2005, Directiva 2003/87/CE	PAS 2060, GHGProtocol, ISO 14064	PAS 2050, GHGProtocol, ISO 14067, EPDs	

Las aproximaciones basadas en asignar la responsabilidad a los productores (Inventarios huellas de carbono de organización...) tienen implicaciones no deseadas, como la falta de estímulo para mejorar en conjunto la cadena productiva (Lenzen et al., 2007). Las empresas tienen incentivos para mejorar sus procesos productivos, única faceta de la que son responsables, pero no para coordinarse con sus proveedores y clientes para obtener un producto o servicio más sostenible.

Dentro de estas aproximaciones, en términos del EU ETS, la legislación en materia de emisiones incide en reducir las emisiones asociadas a la producción en la misma industria, pero no incentiva a reducir las relacionadas con consumos de energía eléctrica u otros insumos (España, 2005; Unión Europea, 2003). Es decir, no tiene en cuenta la capacidad de las empresas u

organizaciones de impulsar la reducción de emisiones tomando decisiones como consumidor de productos y de energía eléctrica. En otros sectores de la economía, como el sector servicios, donde prácticamente todas las emisiones provienen bien de la energía eléctrica consumida o bien del transporte y la logística, sería de escasa efectividad aplicar esta normativa.

Con respecto a los inventarios nacionales, varios autores argumentan que atribuir la responsabilidad a los países productores provoca situaciones injustas, por el carácter globalizado que tiene el comercio hoy en día. En 2004, las emisiones asociadas a productos exportados alcanzaron el 23% de las emisiones mundiales (Davis & Caldeira, 2010). Uno de los problemas asociados es la atribución de emisiones a países que no consumen ni demandan los productos que fabrican, cuando a los países importadores no se les hace responsables de las emisiones de estos productos. En algunos casos (Francia, UK, Suiza) las emisiones asociadas a productos importados supondrían más del 30% de las emisiones ligadas a productos consumidos dentro de las fronteras de estos países (Davis & Caldeira, 2010). El estudio de Ferng (2003) analiza con datos el caso de Taiwan y propone que se comparta la responsabilidad entre países exportadores e importadores. Otro ejemplo son las emisiones por transporte internacional: cuando el transporte es terrestre, aquéllas se asignan a los países de tránsito, mientras que en el caso de transporte marítimo o aéreo aún no está bien regulado aún a quien pertenecen (Peters & Hertwich, 2008).

Además la atribución territorial a los productores que se hace en los inventarios nacionales tiene otro efecto no deseado, muy conocido, que son las fugas de carbono, o “carbon leakage” (Ferng, 2003; Peters & Hertwich, 2008): el traslado de centros de producción industrial hacia países que no están obligados por Kioto a reducir o controlar emisiones. Este problema es relevante por la pérdida de competitividad que tienen los países desarrollados, y desincentiva tanto la mejora ambiental, como la aparición de legislación ambiental restrictiva en países en vías de desarrollo, que ven estos cambios de localización de la producción industrial como una oportunidad para mejorar sus economías.

De similar manera ocurre a escala de empresas, con los niveles de alcance de la responsabilidad. Según un reciente análisis en EEUU, solamente un 26% del total de las emisiones



generadas por las empresas y el sector público de ese país es asignado a los niveles (Scopes) 1 y 2 de alguna empresa estadounidense, quedando el resto dentro del nivel 3 (Matthews et al., 2008).

Por otro lado, responsabilizar al consumidor de las emisiones causadas por el producto demandado, considerándolo como la única “driving force” -fuerza motriz o motivo por el cual se produce y se emiten GEI a la atmósfera-, tampoco carece de problemas. El principal escollo es que no existe estímulo directo a la mejora de procesos industriales, como sí ocurre cuando se responsabiliza al productor (Bastianoni et al., 2004). No obstante, aunque no de forma directa, sí que existe un incentivo para disminuir emisiones en esta aproximación, dado que el objetivo final es tener la menor huella de carbono entre la competencia, como herramienta de marketing (WRI & WBCSD, 2011a). Sin embargo al ser relegado a una estrategia para aumentar ventas y no tener más implicaciones (legales o impositivas), habrá empresas que no entren en la carrera por lograr el producto verde, y opten por otras estrategias.

El enfoque de responsabilidad para el consumidor tiene como problema añadido la mayor complejidad de análisis, dado que no solo ha de tener en cuenta una única organización, sino toda la cadena de valor del producto; además, esta cadena muchas veces no está restringida a un país concreto, dado el carácter global del comercio hoy en día. Este hecho dificulta el uso de datos fiables para el análisis pero, en cambio, le da a este enfoque su principal virtud: su consistencia con el comercio internacional y su cobertura global (Peters, 2008), al no existir hoy en día la obligación de un control de emisiones a escala detallada. Por otra parte, encontrar e impulsar mejoras en la cadena de producto es una opción más rentable (cost-effective) para las empresas que mejorar los procesos propios por separado (Matthews et al., 2008).

Por último, el enfoque de responsabilidad compartida, como el de responsabilidad del consumidor, necesita también de un amplio conocimiento de la cadena del producto. Para la propuesta de Lenzen et al. (2007) se requiere además conocer el valor añadido que cada productor o distribuidor añade al producto, información nada fácil de obtener, ya que suele estar restringida a los directivos de las empresas. Además, este enfoque tiene varios problemas metodológicos. Es cierto que las dos aproximaciones comentadas anteriormente han superado el problema de doble contabilidad que tenían propuestas iniciales en este campo como la de Ferng (2003) (Lenzen et al.,

2007). Sin embargo, la propuesta de Bastianoni et al. (2004) es sensible a la introducción de eslabones en la cadena: por ejemplo, la existencia de dos distribuidores intermediarios, en vez de uno, cambia la huella atribuida a todos los participantes. Por su parte, la propuesta de Lenzen et al. (2007), si bien es resistente a este fallo -ya que se basa en porcentaje de valor añadido sobre el total del precio- es sensible a cualquier cambio en el precio, tanto de productos como de materias primas, por lo que la responsabilidad tendría que ser calculada con una frecuencia tal que implicaría una gran pérdida de operatividad.

En la tabla 4.4 se resumen las principales fortalezas y debilidades de las propuestas analizadas en este epígrafe.

**Tabla 4.4** Características principales de las perspectivas sobre asignación de responsabilidades analizadas hasta el momento. *Elaboración propia.*

Perspectiva	Asunción principal	Marco de asignación	Fortalezas	Debilidades
<b>Productor</b>	Solo el que emite debe pagar por ello	Todo al productor	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incentiva mejoras en la producción</li> <li>- Fácil de aplicar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inconsistente con el comercio internacional</li> <li>- Carbon leakage</li> <li>- No hay cooperación entre productores</li> </ul>
<b>Consumidor</b>	La demanda es la driving force de la producción (y las emisiones)	Todo al consumidor	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Promueve un consumo responsable</li> <li>- Consistente con el comercio internacional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Difícil de aplicar</li> <li>- Poco transparente</li> </ul>
<b>Bastianoni et al.</b>	Los últimos eslabones de la cadena de producción tienen mayor control sobre ella	Varía según la relación entre emisiones acumuladas / e. totales en cada paso	- Asigna emisiones a los productores como consumidores intermedios	- Sensible a cambios en el número de participantes en la cadena de producción
<b>Lenzen et al.</b>	Las etapas que añaden más valor añadido al producto tienen más influencia sobre las emisiones	Varía según la relación entre valor añadido / v. total en cada paso	- No sensible a cambios en el número de participantes en la cadena del producto	- Sensible a cambios en los precios de materiales o servicios a lo largo de la cadena

#### **4.2.2 Dificultad para su aplicación a la construcción de infraestructuras lineales**

La asignación de responsabilidades tiene una difícil implantación en la construcción de infraestructuras lineales. La carretera o las vías del ferrocarril son un producto especial, donde el cliente o consumidor en España es la administración (bien sea estatal, autonómica o local) en régimen de monopsonio (monopolio de la demanda). Además, cada producto es un proyecto único y a medida, cuyas condiciones de trazado y características (ancho de vía, velocidad que se puede alcanzar en el tramo, firmes, etc.) vienen impuestas por el cliente en pliegos de condiciones que el productor, en este caso la constructora, se compromete a satisfacer. Las constructoras a su vez, dada la gran magnitud que alcanzan estos proyectos, suelen subcontratar parte de los mismos a otras empresas, por lo que el número de actores que intervienen es grande, lo que complica aún más el análisis de responsabilidades. Además las obras se adjudican por ley por tramos a diferentes constructoras, o a consorcios de empresas, para que su ejecución sea viable en plazos concretos.

La diversidad de actores y la peculiaridad de cada obra complica enormemente evaluar este sector de la construcción desde la óptica de la huella de carbono o inventario a nivel de las empresas, puesto que al producir un producto tan variable (en número, dimensión y duración de los proyectos), sus balances anuales varían mucho entre sí, por lo que los resultados no son fácilmente obtenibles. Por tanto, en una primera aproximación, resulta más práctico evaluar los proyectos individualmente como productos que son, con un límite temporal ajustado a su vida útil, como se hace en los ACV.

La industria de la construcción es un sector que emite una cantidad considerable de GEIs a la atmósfera y que además tiene un amplio margen de mejora en su desempeño ambiental (Cass & Mukherjee, 2011). Por esta razón, parte de los proveedores (cementeras, industria pesada...) está incluida en el esquema de mercado de derechos de emisión (España, 2005), con el objetivo de estimular la mejora ambiental de los productores de manera directa. Sin embargo las empresas constructoras no están incluidas, y de hecho desconocen el orden de magnitud de sus emisiones en obra. Si se aplicase una perspectiva de responsabilidad al consumidor, no habría incentivos directos a las constructoras para reducir sus emisiones. Además, el régimen de monopsonio de este mercado impediría un buen funcionamiento de la aproximación de responsabilidad al

consumidor, ya que las administraciones (el consumidor de la carretera como producto) tienen la obligación de optar por la opción más barata dentro de las técnicamente adecuadas. Dependería de la administración el establecer requisitos ambientales estrictos en esta área a la hora de sacar a concurso los proyectos. Y dado que el producto es único, la administración debería realizar un estudio pormenorizado para cada proyecto antes de poder establecer estos requisitos.

Las aproximaciones de responsabilidad compartida publicadas anteriormente son, como hemos señalado anteriormente, sensibles bien al número de agentes en la cadena (Bastianoni), o a las variaciones en el precio de las materias primas y del producto, este último condicionado por la acción del cliente (administración) (Lenzen). Además resultan ser muy difíciles de realizar técnicamente por la naturaleza de los datos a recolectar (Lenzen). En el sector de las infraestructuras lineales, donde la cantidad de agentes implicados es muy alta, sería realmente complicado conseguir que no varíen precios ni número de agentes en la cadena.

Por lo argumentado en párrafos anteriores, no tiene sentido adjudicar toda la responsabilidad al consumidor (administración), pero tampoco totalmente a los productores, ya que parte de las características del producto (proyecto) vienen exigidas por el cliente (administración). Sin embargo, las aproximaciones de responsabilidad compartida existentes no son aplicables a este sector. Esta imposibilidad nos lleva, para una primera aproximación, a un esquema de asignación basado en la responsabilidad del productor, pero fundamentando dicha responsabilidad sobre la toma de decisiones.

### ***4.3 Propuesta de asignación CO<sub>2</sub>NSTRUCT***

#### **4.3.1 Esquema de asignación**

Con el propósito de realizar la atribución de la responsabilidad de las emisiones de GEI a los distintos agentes implicados en la construcción y mantenimiento de las infraestructuras lineales, se establece una tabla de responsables de las emisiones. Esta tabla contiene a nivel general, estos responsables, agrupados por funciones desempeñadas. Entre estas categorías de responsables se encuentran por ejemplo: la administración, la empresa constructora, los fabricantes de materiales, las empresas energéticas, o las empresas que tienen la concesión de la explotación de la infraestructura. Esta relación de responsables cubre a todos los implicados en la realización de los

proyectos de infraestructuras lineales. No resulta muy operativo, en esta primera aproximación, bajar el detalle hasta las empresas reales implicadas. El uso de grandes categorías de responsables ayuda en la interpretación de resultados, clarificando unos resultados que de otro modo serían complejos y su interpretación resultaría oscurecida por el ruido de la casuística.

Este esquema de asignación de responsabilidades parte de un enfoque de responsabilidad de productores típico. La base del mismo son los estándares al uso para la evaluación de huella de carbono (GHG Protocol, PAS 2050 y 2060, ISO 14064 y 14067), interpretados para su adecuación al sector de la obra civil. El objetivo inicial es que este marco de asignación sea compatible con los estándares, tanto de producto como de organización. El resultado se expone a continuación:

Se considera acertado que el productor es el que toma la decisión de cómo hace su producto, especialmente a nivel de fuente de energía utilizada. Así, las emisiones generadas en la combustión (consumo de combustibles) causadas durante la operación de maquinaria en obra se asignan a la empresa constructora o subcontrata. Las emisiones causadas por transporte dentro en la obra también son responsabilidad de la constructora, siguiendo el GHG Protocol (WBCSD & WRI, 2004), dado que son las “instalaciones” de la constructora.

Para materiales fabricados a pie de obra, las emisiones tanto por consumo de energía como las independientes de la energía, son computables a la constructora. Por su parte, las emisiones asociadas al consumo de combustibles en la industria para la producción de materiales se atribuyen a las empresas productoras. Las emisiones independientes del consumo de energía generadas por los materiales (emisiones de proceso) se atribuyen a las empresas productoras (fabricantes) de los mismos. Las emisiones en preproducción se atribuyen al fabricante o suministrador de las materias primas, considerado en abstracto, teniendo en cuenta precisamente el nivel de incertidumbre de las emisiones incluidas en esta categoría.

Las emisiones por procesamiento de los residuos o posibles emisiones (o captaciones) de éstos en vertedero, serán computables a la empresa gestora de residuos. Cuando se articule su reciclado, reutilización o valorización, tal responsabilidad se entiende que se transfiere a la empresa que los utilice.

Las emisiones asociadas al consumo de energía eléctrica también se tratan como en otros enfoques de responsabilidad del productor (GHG Protocol, PAS...) y se computan como emisiones directas a la empresa que genera dicha energía, independientemente de que se tendrán en cuenta como emisiones indirectas (nivel 2) de la empresa que realiza la actividad y genera la demanda. Las emisiones correspondientes a la precombustión se atribuyen a las empresas energéticas (se diferencian, en principio, las empresas suministradoras de energía eléctrica y las de combustibles, pero sin profundizar en otras distinciones entre generadoras, distribuidoras, etc.).

Hasta aquí estaríamos en una asignación de responsabilidad al productor típica. Sin embargo, este enfoque no es suficiente, bien por no estar regulado, o bien por no ser adecuado, para cubrir otras situaciones que se dan dentro de la construcción de infraestructuras. Por ejemplo, ¿tendría sentido atribuir a la constructora las emisiones causadas por destrucción de un sistema natural si la constructora no ha decidido el trazado de la carretera? ¿Debe atribuirse el transportista las emisiones generadas por su actividad cuando no es éste el que decide adónde ha de llevar su carga? ¿A quién se asignan las captaciones de CO<sub>2</sub> por parte de los sistemas naturales restaurados?

Comenzando con los cambios de uso de territorio, el GHG Protocol, en su guía para UTCUTS atribuye las emisiones causadas o captadas al promotor de la actividad o cambio de uso (WRI, 2006), si bien se centra en proyectos de manejo forestal donde el promotor suele ser también el ejecutor del proyecto. En el caso de las infraestructuras, el promotor y cliente o consumidor es la administración, si bien son las empresas constructoras las que directamente realizan el cambio de uso de territorio, con la consiguiente afección a los sistemas naturales. Pero la decisión sobre el trazado corresponde a la administración, y por tanto, ésta se hace responsable, tras la consiguiente declaración de impacto ambiental positiva, de las posibles afecciones a los ecosistemas. Entonces, las emisiones generadas por la destrucción/degradación de sistemas naturales son computables por regla general a la administración, como promotor, titular y responsable último de la obra y de los terrenos de domino público asociados a la infraestructura.

Puede considerarse, no obstante, la excepción de que la empresa constructora, con motivo de la obra, acuerde la utilización temporal de un terreno con otro propietario distinto a la

administración: en este marco, las emisiones derivadas de un posible impacto sobre sistemas naturales, serían en principio atribuibles a la actividad de la constructora, aunque sin embargo, cabe considerar que es el propietario el responsable último de la gestión de su terreno y el que acuerda con la constructora cómo debe restaurarse el mismo.

Del mismo modo, las captaciones de CO<sub>2</sub> derivadas de la implantación de un nuevo sistema natural, de su desarrollo y del crecimiento posterior de la vegetación son, por las mismas razones que antes, atribuibles por regla general a la administración, con la excepción previamente mencionada de las ocupaciones temporales de terrenos auxiliares.

Los sistemas naturales se constituyen explícitamente en residuos cuando son objeto de una unidad de obra como el despeje y desbroce del terreno (vegetación) o la excavación de tierra vegetal (el suelo) y por razones de organización o debido a la contaminación de esta tierra, no se reaprovecha en la restauración. En estos casos, en tanto en cuanto el destino sea el vertedero, no se asignan al gestor de residuos las emisiones de CO<sub>2</sub> independientes del consumo de energía (como podría hacerse en los demás residuos), puesto que ya se hace en la unidad en la que se explicita el impacto, y sólo se contabilizaría el consumo de energía en el transporte (o carga y transporte) como tales residuos. Sin embargo, cuando el destino es la valorización o reutilización de biomasa o suelo, las emisiones por afección a sistemas naturales se descuentan de las emisiones atribuibles a la obra y se asignan a la actividad de destino (otra obra, empresa energética...). Si el destino es directo, puede además procederse del mismo modo con las emisiones del transporte.

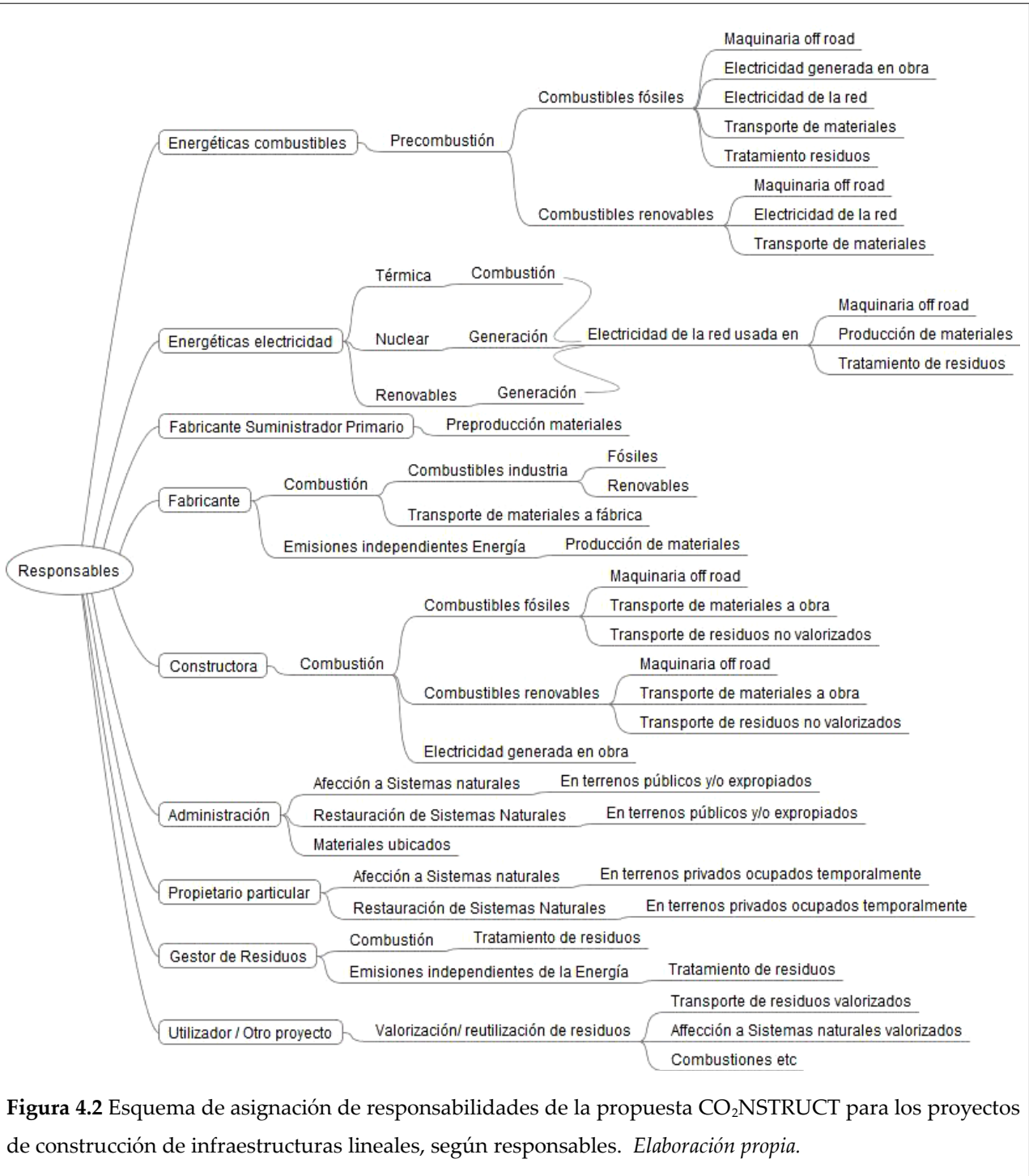
Las posibles emisiones (o captaciones) que pudiera generar un material una vez se encuentre ubicado (montado) ya en la obra se asignarán en principio a la administración, entendida como propietaria y consumidor de la infraestructura.

El transporte de materiales (desde el último fabricante) y de residuos, incluyendo los sistemas naturales, se asigna en principio a la empresa constructora. El transporte de materiales aguas arriba del último fabricante se asigna al fabricante que hace uso de esas materias primas. No obstante, con objeto de establecer límites definidos que evitan la duplicación en la contabilización de emisiones, cuando se articule la reutilización / valorización de los residuos (aprovechamiento energético de biomasa, préstamo de tierra vegetal u otros materiales del suelo...) y en tanto en

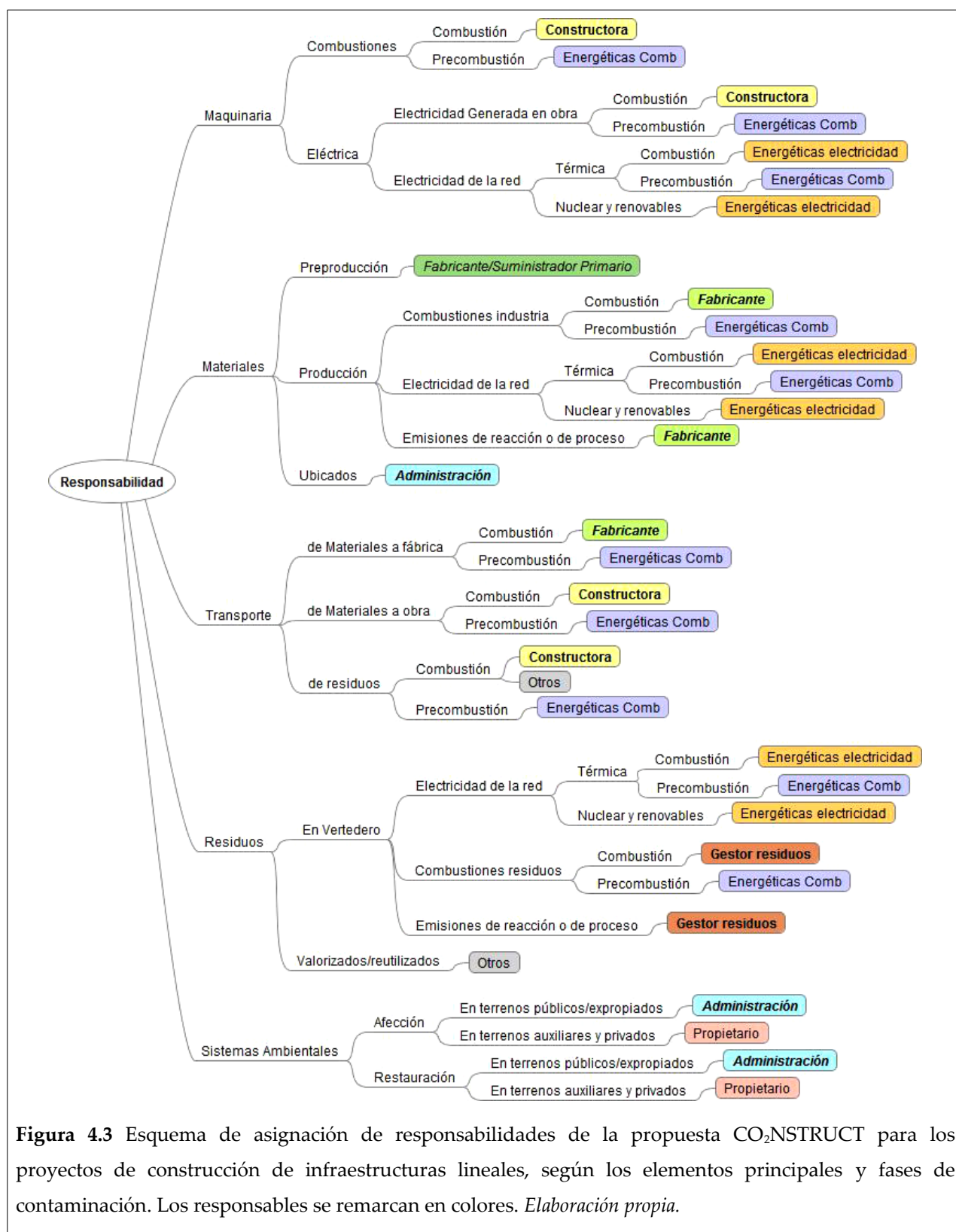
cuanto el transporte sea directo al destino donde se utilizarán los residuos, se propone que las emisiones generadas por éste sean atribuibles a la empresa de destino. Este esquema de atribución debería tenerse en cuenta tanto en el proyecto que genere un residuo a utilizar como en el proyecto que utilice un residuo generado por otro.

En la figura 4.2 se expone el esquema de asignación de responsabilidades propuesto, según se ha ido detallando, ordenado en función de los responsables. En la figura 4.3 aparece el esquema de asignación CO<sub>2</sub>NSTRUCT esta vez ordenado en función de los elementos de los proyectos (maquinaria de obra, materiales, transporte...) y fases de contaminación, para dar otra visión de conjunto a toda la propuesta. El objetivo de mostrar el esquema por elementos, fases y subfases de contaminación es para, además de desgranar la propuesta, enfatizar que esta asignación, partiendo de un enfoque de productor, está basada en la toma de decisiones y comprobar la exhaustividad del esquema de asignación. Esta asignación no está completamente cerrada en aspectos como el transporte, que puede ser más flexible como anteriormente comentábamos. Pero cubre todas las actividades que se desarrollan a lo largo de un proyecto de construcción típico.





**Figura 4.2** Esquema de asignación de responsabilidades de la propuesta CO<sub>2</sub>NSTRUCT para los proyectos de construcción de infraestructuras lineales, según responsables. *Elaboración propia.*



**Figura 4.3** Esquema de asignación de responsabilidades de la propuesta CO<sub>2</sub>NSTRUCT para los proyectos de construcción de infraestructuras lineales, según los elementos principales y fases de contaminación. Los responsables se remarkan en colores. *Elaboración propia.*

### 4.3.2 Relación entre responsables y sectores

Como perspectiva complementaria, de agregación de resultados que pueda ayudar al análisis de los resultados, se va a explicar la relación existente entre los responsables definidos anteriormente y los sectores considerados en la presentación de resultados. La herramienta CO<sub>2</sub>NSTRUCT, que se expone en el capítulo siguiente, puede mostrar los resultados por sectores del ámbito económico (Industria, Obra, Transporte, Energía (Precombustión y Electricidad) y Usos del Territorio, Cambios de Uso del Territorio y Silvicultura (UTCUTS)) presentes, directa o indirectamente en los elementos del proyecto de construcción. Estos sectores equivaldrían, con algunas modificaciones (la inclusión de un sector específico para la construcción) a los considerados en los Inventarios Nacionales, usados en la asignación territorial de emisiones. La clasificación de sectores contemplada en este estudio es la siguiente:

- **Obra:** incluye las emisiones en la fase de combustión de los combustibles empleados en las operaciones de obra, así como las emisiones independientes de la energía (emisiones de proceso): emisiones de materiales producidos en obra, captaciones en materiales ubicados y residuos.

- **Usos del Territorio, Cambios de Uso del Territorio y Silvicultura (UTCUTS)** Incluye las emisiones debidas a las afecciones a sistemas naturales, y las captaciones de CO<sub>2</sub> por parte de los sistemas naturales y nuevas plantaciones durante la vida útil de la carretera.

- **Transporte:** abarca las emisiones en la fase de combustión de la maquinaria de transporte.

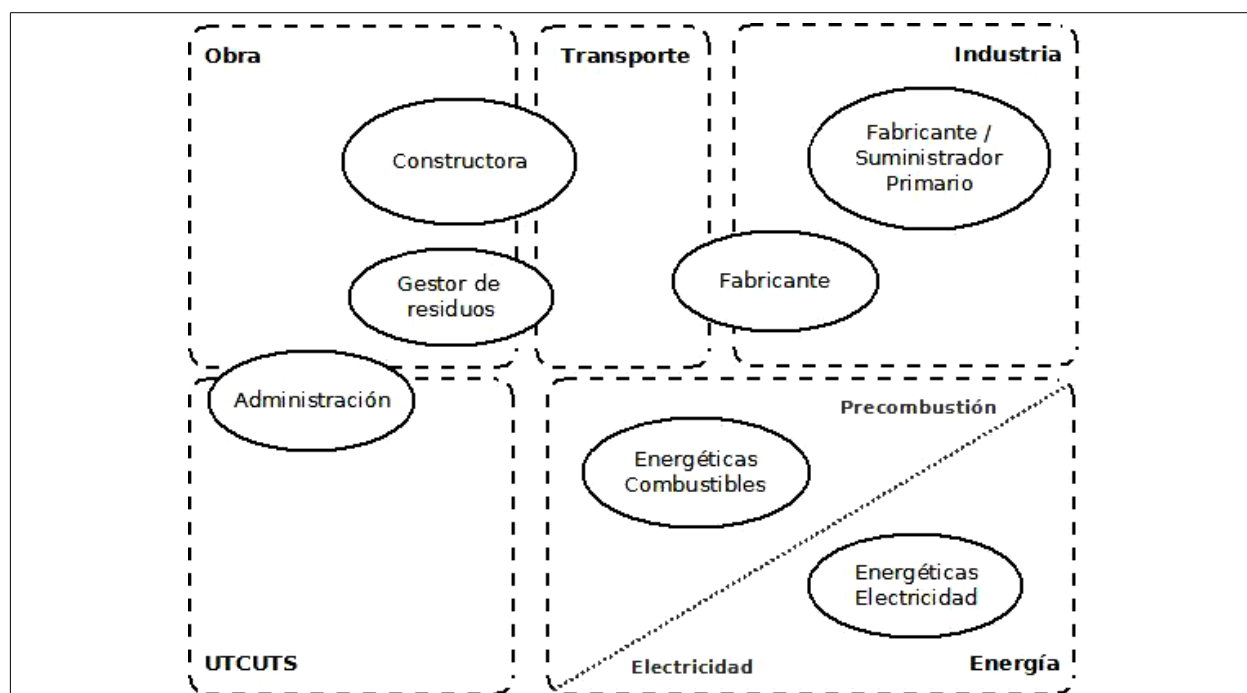
- **Industria:** comprende las emisiones en la fase de combustión de los combustibles empleados en la producción de materiales en la industria, así como las posibles emisiones independientes de la energía generadas en ese proceso y todas las emisiones de preproducción.

- **Electricidad:** las emisiones en la fase de combustión de las fuentes de energía utilizadas para la producción de la energía eléctrica consumida en la obra y en la producción de materiales.

- **Precombustión:** las emisiones en la fase de precombustión de todas las fuentes de energía utilizadas en todos los sectores.

Estos dos últimos sectores se agruparían en un sector “**Energía**”. Esta segunda consulta se evalúa para el total del proyecto y para cada una de las etapas del mismo.

En la figura 4.4 se puede observar una gráfica de conjuntos, donde se observa que responsables están representados en cada sector y viceversa.



**Figura 4.4** Diagrama de relación entre sectores (borde discontinuo) y responsables (elipses). El sector energía se desdobra en generación de electricidad y precombustión en los resultados. *Elaboración propia.*

Como se puede observar las categorías elegidas son bastante coincidentes, si bien no se ajustan del todo, por lo que en el apartado de resultados vamos a proporcionar los datos por ambos conceptos, responsables y sectores.

#### **4.4 Propuesta MTD**

A continuación vamos a desarrollar una propuesta innovadora nacida en el curso de esta investigación. No ha podido ser aplicada de forma nativa en la herramienta por razones que detallaremos más adelante, pero que consideramos que tiene desarrollo futuro. La propuesta como tal está recogida con detalle en una reciente publicación (Berzosa et al., 2012).

La idea común que subyace en todas las aproximaciones es que la responsabilidad la tiene el que toma las decisiones. Las primeras aproximaciones dan este papel de toma de decisiones a los productores, las siguientes hacen hincapié en que los productos son fabricados por la existencia de una demanda, mientras que las de responsabilidad compartida superan esta dicotomía pretendiendo repartir las cargas entre productores y consumidores.

El cliente es responsable de lo que consume, pero no de cómo se ha fabricado/producido ese servicio o producto. Por tanto, parece lógico -como hacen indirectamente Lenzen et al. (2007)- repercutir al cliente los impactos de los materiales en sí, haciendo responsable a la demanda del agotamiento de materias primas y al impacto sobre los sistemas naturales que conlleva esa producción. Sin embargo, el productor es el que decide la forma de transformar esas materias primas en el producto o servicio, y por tanto tiene responsabilidad en la medida que pueda optar por diferentes formas de producir. En el caso figurado en el que el producto fuera generado mediante las mejores tecnologías disponibles (MTD o BAT en inglés), el productor no podría hacer más por reducir las emisiones del proceso, por lo que el hecho que se produzcan esas emisiones ocurre por acción de la demanda del consumidor, sobre el que tendría que recaer la responsabilidad de las emisiones.

Siguiendo este razonamiento, se establece un marco de responsabilidad compartida, basado en el uso de las MTD como base sobre la que repartir las responsabilidades. En esta propuesta se asignan al consumidor las emisiones generadas en el caso de que se usaran las MTD en todo el ciclo de vida del producto o servicio; la diferencia entre las emisiones de la MTD y las producidas realmente se repercuten al productor que no use la correspondiente MTD.

Para poder aplicar esta aproximación, es necesario definir las MTD para prácticamente todos los procesos de producción. El European IPPC Bureau y la USEPA han establecido las MTD para muchos procesos, haciendo que esta aproximación sea más fácil de aplicar (EIPPC, 2012; USEPA, 2012). No obstante, el balance de GEIs de algunas de estas MTD aún debe ser calculado, al estar centradas estas recomendaciones en los contaminantes principales, que no siempre coinciden con los GEIs.

La asignación de responsabilidades según MTD puede estar matemáticamente formulada del siguiente modo:

$$Emisiones\ Productor_i = Emisiones\ en\ Producción_i - Emisiones\ MTD_i + Emisiones\ del\ transporte\ a\ fabrica_i$$

$$Emisiones\ Consumidor = : \sum_{i=1}^n MTD_i + Emisiones\ de\ la\ distribución\ final$$

considerando una cadena de producto con  $n$  productores y un solo consumidor final.

Sin embargo, a primera vista tres problemas o interrogantes se ponen de manifiesto ya en primera instancia: ¿Cuál es la MTD para la etapa de transporte? ¿cómo puede incentivar la propuesta MTD a los consumidores hacia una demanda de productos menos contaminantes? y ¿qué hacer si la etapa de producción es menos contaminante aún que la MTD?

Empezando por la etapa de transporte y distribución, la práctica ideal sería evitar todo transporte en la medida de lo posible. El mejor producto es el que desarrolla todas las etapas de su ciclo de vida en la misma localización. Aunque esta situación no es realista en la mayoría de los casos, y por otro lado, no es operativo en un principio evaluar el mejor medio de transporte para cada caso concreto. Por tanto, proponemos asignar el transporte a la siguiente etapa del ciclo de vida, como forma de penalizar a los productos mas “viajeros”. Las compañías de transporte no toman la decisión de dónde distribuir los productos, sólo siguen las demandas de sus clientes, por lo que no tiene sentido asignarles esas emisiones en principio.

Por otro lado, este marco de asignación por sí solo no generaría entre los consumidores una demanda de productos más respetuosos con el medio ambiente, al no haber diferencia entre las emisiones asignadas al consumidor en función de las marcas de un mismo producto. Por tanto, tendría que ir acompañado de algún tipo de incentivo fiscal para el consumidor, o de gravamen para los productores más contaminantes. Este gravamen tendría el doble objetivo de que los productores o bien se muevan hacia la MTD, o bien tengan que mandar una señal de precio en sus productos (una subida) a sus potenciales clientes para compensar costes crecientes. En definitiva,

se trataría de generar una ventaja competitiva vía precio a las empresas más respetuosas con el medio ambiente.

En el fondo, esta estrategia de penalizar a los más contaminantes es la seguida en el comercio de derechos de emisión europeo, con la diferencia de que en este marco no haría falta una asignación de derechos de emisión a todas las empresas, sino que sólo tendrían que acudir a un mercado o pagar impuestos las que no cuenten con las MTD en sus medios de producción.

Por último está el caso de las compañías menos contaminantes que la MTD. La asignación a estas compañías sería negativa en la propuesta MTD. Esta situación puede darse por una mejora en los procesos productivos o por el uso de algún co-producto que mejore las emisiones de la MTD existente. Debería haber por tanto, alguna fórmula para recompensar e incentivar estos esfuerzos en innovación. Por ejemplo, en el contexto europeo estas emisiones “negativas” podrían ser reconocidas y certificadas como derechos de emisión de CO<sub>2</sub>, y por tanto las compañías verdes podrían comerciar con ellos. Esta es una situación análoga a la que se da en los mecanismos de flexibilidad del protocolo de Kioto (Joint implementation and Clean development mechanisms, Naciones Unidas (1998)). Se podrían aplicar otros incentivos fiscales, pero esta discusión excede el alcance de este estudio.

La aproximación MTD, esbozada anteriormente, no es aplicable de forma sencilla porque no están definidas las MTD para el sector de la construcción de infraestructuras lineales, ni por la UE (EIPPC, 2012) ni por la USEPA (USEPA, 2012). Sin embargo, a pesar de que ésta no va a ser la propuesta principal, será tomada en cuenta como escenario posible de análisis, con unas MTD hipotéticas, basadas en las posibilidades técnicas menos contaminantes contempladas en los escenarios previos.

## **5 Aplicación web para el cálculo de emisiones de GEI en proyectos de carreteras: CO<sub>2</sub>NSTRUCT**

### ***5.1 Introducción y objetivos de la herramienta***

La implementación de un análisis integral de esta envergadura y la pretensión de su aplicación generalizada a los inmensos proyectos de carretera hacen imprescindible el disponer de una herramienta de apoyo. Ninguna de las herramientas de cálculo de emisiones disponibles a la hora de iniciar este proyecto contemplaba dentro de su alcance los sistemas naturales afectados por la construcción de infraestructuras, si bien un reciente desarrollo en EEUU ya lo ha incluido (Melanta, 2010). No obstante no existe actualmente ninguna que sea capaz de asignar responsabilidad en las emisiones. En el seno del proyecto CLEAM se comprendió claramente esta necesidad y se tomó la decisión de implementarla. El desarrollo informático de la misma no es el objetivo de una tesis en Ecología, pero entendemos que sí lo es la definición de los objetivos y requerimientos del diseño de la herramienta, que debe estar fundamentada esencialmente en el análisis de la naturaleza y dimensiones del problema, así como en el enfoque metodológico diseñado para su abordaje. En nuestro caso, el trabajo realizado ha sido el establecimiento del marco conceptual y metodológico que conforma la estructura de la herramienta y la comprobación de resultados, sin entrar a programar informáticamente la misma, trabajo realizado por informáticos del proyecto.

El objetivo general marcado para esta herramienta es el de permitir cuantificar las emisiones de los principales GEI en las actividades de las etapas de construcción y mantenimiento de infraestructuras lineales, considerando la perspectiva integral definida en el alcance del análisis, y con atribución de la responsabilidad de las emisiones a los diferentes agentes involucrados.

En el desarrollo se pretendió lograr una herramienta con suficiente nivel de detalle para poder considerar la gran variedad de actividades principales posibles en la construcción y el mantenimiento de las infraestructuras lineales pero, a su vez, con la suficiente generalidad para integrar información con niveles de precisión heterogéneos y hacer factible su utilización operativa por usuarios no necesariamente expertos.



Se planteó que el soporte informático de la herramienta estuviera constituido por una aplicación integradora y centralizadora, con vocación de ser utilizada, alimentada y actualizada de forma colaborativa por un elenco múltiple y diverso de usuarios. La estructura de esta aplicación permite almacenar de forma organizada toda la información de referencia necesaria para el cálculo de las emisiones de GEI, la cual está además directamente accesible para su consulta. Se contempló explícitamente también que hubiera una vinculación directa de los datos/información utilizados para cada componente con el origen y las características de la información de referencia utilizada, estableciéndose procedimientos estándar para la organización e incorporación de estos datos referenciados. En este sentido, se consideró explorar la factibilidad de articular formatos compatibles con otras herramientas de análisis de ciclo de vida de uso difundido.

En el planteamiento de esta herramienta tuvo que asumirse, por razones de organización del Proyecto CLEAM-CENIT, que ésta utilizaría como información inicial la estructura por partidas y los resultados del análisis de consumo energético de los proyectos de carreteras en la fase de construcción; esta información vendría proporcionada por la herramienta CIVICAR (realizada por un equipo independiente dentro del mismo Proyecto (I 68, 2010)), garantizando así la compatibilidad y complementariedad de ambas herramientas; aunque se previó también la posibilidad de articular procedimientos alternativos de carga de la información para no comprometer los resultados.

La base de datos debería alimentar un motor de cálculo para la evaluación, en términos de balance de emisiones, de las partidas de los proyectos de construcción. Aparte de las entradas constituidas por la estructura por partidas de los proyectos y su evaluación energética (procedentes de CIVICAR), es necesaria la inclusión de información específica para el cálculo de las emisiones. Además deberían incorporarse los dispositivos necesarios para generar escenarios asumiendo configuraciones alternativas factibles de los procesos, parámetros o variables implicados. Se planteó también que tanto las entradas como los resultados correspondientes a cada proyecto deberían poder almacenarse en la aplicación, además de exportarse en formatos compatibles con aplicaciones de uso habitual.

También se previó, para el diseño de las consultas de resultados, la necesidad de disponer de diferentes perspectivas y niveles de resolución para el análisis, además de balances desglosados de las emisiones conducentes a realizar la asignación individualizada de la responsabilidad de las emisiones a las diferentes empresas y agentes implicados en el proceso de desarrollo de las infraestructuras.

Deberá poseer, asimismo, la suficiente flexibilidad para articular de forma ágil la incorporación de nueva información y la actualización de sus contenidos –de acuerdo al ritmo de cambio que determina la sinergia entre la innovación y la evolución de la regulación que caracterizan al sector, así como para permitir valorar posibles alternativas de diversa índole.

## **5.2 Características generales de la herramienta**

El soporte informático de la herramienta está constituido por una aplicación web-base de datos basada en servidor –lo que permite el acceso remoto a una estructura centralizada–, dotada de interfaz y control de usuarios y que permite el acceso simultáneo de múltiples usuarios. La aplicación está basada en cuatro componentes de software fundamentales, todos ellos basados en software libre, para evitar limitaciones y costes asociados a licencias:

- Sistema operativo Linux (Debian 5.0.7).
- Motor de bases de datos (MySQL)
- Servidor web y servidor de aplicaciones (Apache + Passenger + Rails)
- Código de la aplicación.

En la figura 5.1 se ofrece una captura de pantalla para ilustrar el aspecto gráfico de los menús de la herramienta.

La estructura está diseñada para permitir almacenar de forma organizada toda la información de referencia necesaria para el cálculo de las emisiones de GEI, y esta información está directamente accesible para su consulta en todo momento. Se ha articulado, además, la vinculación directa de los datos/información utilizados para cada componente con el origen, la referencia temporal y geográfica de aplicación, y demás características de la información de referencia utilizada (es decir, con una estructura de metadatos). De acuerdo con esto, la estructura de la base



Figura 5.1 Captura de pantalla de la aplicación CO<sub>2</sub>NSTRUCT, en su apartado de Gestión de Proyectos.

Elaboración propia.

de datos, así como los procedimientos de carga y consulta de la información, aplican estos criterios de organización y permiten hacer explícitos tanto el estado de actualización de estos metadatos como los requerimientos de los mismos en este sentido. Por otra parte, si bien no se ha llegado al límite de articular, para la información de base, formatos compatibles con otras herramientas o bases de datos de análisis de ciclo de vida, el diseño de la estructura de los metadatos sí ha tomado como referencia los correspondientes criterios de organización de aquellas. Esta base de datos, (cuyo contenido se ha descrito en el capítulo 2), alimenta el motor de cálculo para la valoración, en términos de balance de emisiones, de los proyectos de construcción. Los proyectos pueden ser importados semi-automáticamente a partir de la estructura por partidas procedente de CIVICAR o también pueden ser cargados y editados manualmente. La inclusión de cualquier información adicional para el cálculo de las emisiones, puede llevarse a cabo también directamente o mediante la importación desde tablas EXCEL.

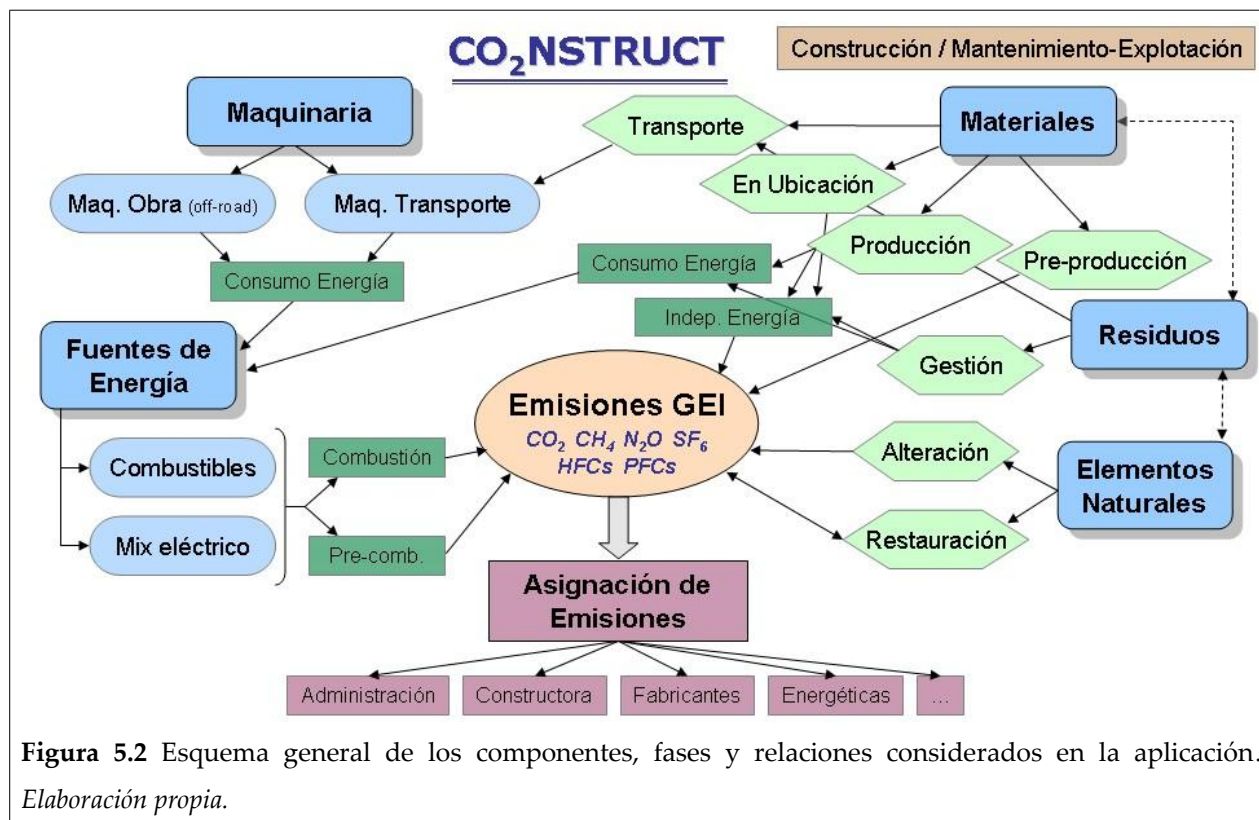
Tanto las entradas como los resultados correspondientes a cada proyecto se almacenan en la aplicación, en una estructura jerárquica que engloba las diferentes versiones y los escenarios

realizados para cada proyecto. Los resultados incluyen diferentes perspectivas de análisis, todos los niveles de resolución desde el nivel de proyecto a unidad de obra, y comprenden tanto consultas puntuales, como informes completos sobre los proyectos. Pueden además exportarse a aplicaciones como Adobe Acrobat (en .pdf) y Excel (.csv). El alcance de la herramienta es similar al descrito para el estudio en el apartado 1.4, centrándose en el cálculo de emisiones de las fases de construcción y mantenimiento de la carretera, pues las emisiones ligadas a la fabricación de los materiales están incluidas ya en la base de datos. Se tiene en cuenta también el transporte y la afección a los sistemas naturales. La herramienta se ha desarrollado inicialmente para evaluar las infraestructuras de transporte en carretera, pero posee una configuración abierta que permite extender su aplicación al conjunto de las infraestructuras lineales.

Como aspecto singular de la aplicación, es importante destacar que en su diseño se ha considerado explícitamente, la necesidad de disponer, a nivel de resultados, de balances desglosados de las emisiones de GEI, conducentes a realizar la asignación individualizada de la responsabilidad de las conforme al esquema detallado en el capítulo anterior.

El esquema sintético de los principales elementos de la aplicación así como su respectivo desglose por fases de contaminación se muestra en la figura 5.2. La estructura de desglose establecida está motivada por un la confluencia de varios criterios: la aplicación de una perspectiva integral y exhaustiva a la cuantificación de las emisiones; la consecución del nivel de separación de componentes requerido tanto para poder abordar la atribución individualizada de la responsabilidad de las emisiones a los distintos agentes como para conseguir la resolución suficiente para el análisis de causas y la configuración de alternativas de gestión del problema de las emisiones; y, finalmente, asume también la limitación impuesta por las características del estado del arte actual de la información disponible. En la figura se aprecia como a partir de las categorías de datos introducidas en la base de datos (en azul), se calculan, según las fases y subfases (representadas en verde), las emisiones totales, y simultáneamente cada emisión es asignada a uno de los agentes responsables siguiendo los criterios del capítulo 4.

CO<sub>2</sub>NSTRUCT facilita también la evaluación de alternativas y escenarios, así como su comparación con el proyecto original. Estas versiones pueden crearse mediante edición manual de



una copia de un proyecto o mediante un dispositivo específico que permite generar un amplio elenco de escenarios de forma automática.

Finalmente, mencionar que esta aplicación está concebida para constituirse en un módulo de un entorno de trabajo superior, como puede ser un sistema integral de gestión o un portal de organización y gestión de la información sobre emisiones y otros aspectos relativos a la gestión medioambiental de proyectos en el desarrollo de infraestructuras. De hecho, ese tipo de entorno, en tanto en cuanto sirva como medio tanto para contrastar como para mantener actualizados la información y el conocimiento relacionado con la generación de emisiones, puede entenderse como el requisito necesario para garantizar la validez de la herramienta a medio plazo.

Las principales aplicaciones previstas para esta herramienta, que coinciden en general aunque no biunívocamente con los objetivos de la tesis, son las siguientes:

- Organización y mantenimiento de la información de base para la cuantificación de emisiones.

- Evaluación de los proyectos de construcción / mantenimiento de infraestructuras en términos de emisiones de GEI.
- Permitir la valoración comparativa de alternativas así como del alcance relativo de las posibles actuaciones que puedan formularse para la gestión del problema de las emisiones.
- Proporcionar, a medio y largo plazo –a través de su aplicación generalizada a los proyectos de carreteras–, la información de base para la determinación de la contribución a las emisiones nacionales tanto de empresas constructoras en particular como de la actividad en este sector en su conjunto.

### **5.3 Entrada de datos**

Como se ha mencionado en la introducción, en el diseño de la estructura de los metadatos se han tomado como referencia los criterios de organización de otras herramientas o bases de datos de análisis de ciclo de vida. Concretamente, ese diseño de los metadatos tiene como referencia última el formato Ecospold, promovido por la organización suiza Ecoinvent (Ecoinvent, 2007), cuyas bases de datos sobre análisis de ciclo de vida alimentan las herramientas de análisis más habituales y se están constituyendo en una referencia a nivel internacional. No obstante, en tanto que el análisis previsto para la aplicación web que se está diseñando en este proyecto se circunscribe a los principales GEI, y teniendo en cuenta la elevada complejidad del formato Ecospold, hemos estimado conveniente considerar -con un criterio de operatividad próximo al utilizado en la base de datos US LCDI (National Renewable Energy Laboratory, 2011)– una versión sintetizada de esa estructura de metadatos, más de acorde con el objetivo y alcance de esta herramienta.

#### **5.3.1 Gestión de la información de base**

De cara a la organización de la base de datos, se ha denominado “elemento o actor contaminante” a aquellos elementos que, de una forma u otra, emiten a la atmósfera GEIs. A saber: Sistemas naturales, Maquinaria de Obra, Maquinaria de Transporte, Materiales y Residuos. Se guarda información relativa sobre sus nombres y referencias que den al usuario mayor

información de cómo y cuándo se ha obtenido ese actor contaminante. Se ha decidido una relación de herencia para no duplicar datos comunes a todos los actores y simplificar, de esta forma, la estructura de la base de datos.

En lo concerniente a los registros de la base de datos correspondientes a los actores contaminantes (maquinaria, materiales, residuos, elementos naturales), fuentes de energía, GEI y agentes responsables de las emisiones, que constituyen la información de base para el cálculo y la asignación de emisiones, el usuario podrá introducir nuevos registros, así como consultar, modificar, o eliminar dichos registros, mediante los correspondientes formularios.

En particular, para la captura de registros correspondientes a maquinaria (de obra y de transporte, por separado), materiales, elementos naturales y fuentes de energía (mixes eléctricos y otras fuentes, por separado), se dispone de la alternativa de importar de forma masiva un conjunto de registros de los mismos, a partir de tablas EXCEL (XLS).

Todos estos registros –excepto los responsables de emisión– están organizados en la base de datos jerárquicamente en grupos y, en algunos casos, subgrupos. El usuario puede clasificar o editar la clasificación de cada elemento e, incluso, crear nuevas categorías dentro del marco permitido. No obstante, la eliminación de categorías, por cuestiones de seguridad e integridad de la base de datos, está restringida al usuario con privilegios de administrador.

Para cada material, el usuario podrá introducir y asociar configuraciones diferentes de la distribución del consumo por fuentes de energía (información más específica, empresas diferentes...), así como especificaciones diferentes de las emisiones independientes de la energía, ya sea en producción o una vez ya ubicado en la infraestructura (en explotación), o de las emisiones generadas en la preproducción del mismo.

En los sistemas naturales, podrá crear los registros correspondientes a nuevos sistemas, o modificar cualquiera de los valores individuales (valores de CO<sub>2</sub> por compartimento, o factores de captación de CO<sub>2</sub> por el sistema) que permiten definir las emisiones asociadas a este tipo de sistemas.

En lo que respecta a la energía, podrá crear o modificar las fuentes de energía, tanto en lo que respecta a sus factores de emisión por combustión como en lo relativo a sus emisiones en precombustión, además de modificar la asociación de dichas fuentes con los componentes que implican un consumo de las mismas.

Del mismo modo, podrá crear o modificar los mix eléctricos, cambiando las fuentes de energía que configuran el mix, o su contribución relativa, así como modificar la asociación de los mix con los diferentes componentes que implican un consumo de energía eléctrica.

Con relación a los agentes responsables de las emisiones, el usuario podrá modificar la adjudicación de las emisiones generadas por los distintos componentes o fases a los diferentes agentes.

La herramienta tiene habilitada la consulta por parte del usuario de la información completa, datos y referencias (metadatos), correspondiente a los objetos de las base de datos (la información de base): los listados de los registros están accesibles en las respectivas páginas específicas, en cada caso agrupados por sus correspondientes categorías.

### **5.3.2 Gestión de proyectos**

Si bien se ha implementado un módulo específico para importar los proyectos de CIVICAR, asumiendo la premisa de que dicha herramienta proporcionaría la información de partida, paralelamente se han habilitado también los dispositivos necesarios para la creación de proyectos de modo manual.

El usuario puede, por tanto, crear de manera secuencial proyectos completos, abrir proyectos ya creados, modificarlos, copiarlos y crear versiones de un proyecto, o escenarios de una versión, con objeto de realizar comparaciones entre ellos.

La aplicación registra en la base de datos, además de la denominación del proyecto, la información relativa al autor, fecha de creación y fecha de actualización del mismo, así como los datos identificativos del proyecto de CIVICAR cuando esta aplicación constituya el origen de la información.



En principio, las versiones se entiende que corresponden a alternativas de un proyecto o a copias con cálculo de las emisiones de la maquinaria mediante uno de los dos métodos alternativos:

1. Directamente en función del consumo de energía definido para la maquinaria.
2. En función de los factores de consumo y emisiones determinados por la metodología EMEP según las especificaciones de la maquinaria.

Por lo que respecta a la estructura de capítulos / partidas, el usuario puede introducir nuevos capítulos, partidas, unidades de obra o componentes de las unidades de obra, así como modificar los existentes (específicamente se contempla la adición de un capítulo o partida correspondiente al Impacto sobre los Sistemas naturales, en tanto en cuanto no están en principio incluido como tal en la valoración energética de un proyecto).

Con relación a los datos relativos a la utilización de una maquinaria como componente de una partida (por ej., unidad de obra), el usuario puede cambiar la maquinaria por defecto por una maquinaria alternativa, o modificar la forma en que se evalúan el consumo y/o las emisiones de la misma. En este último caso, esto puede hacerse de diferentes formas:

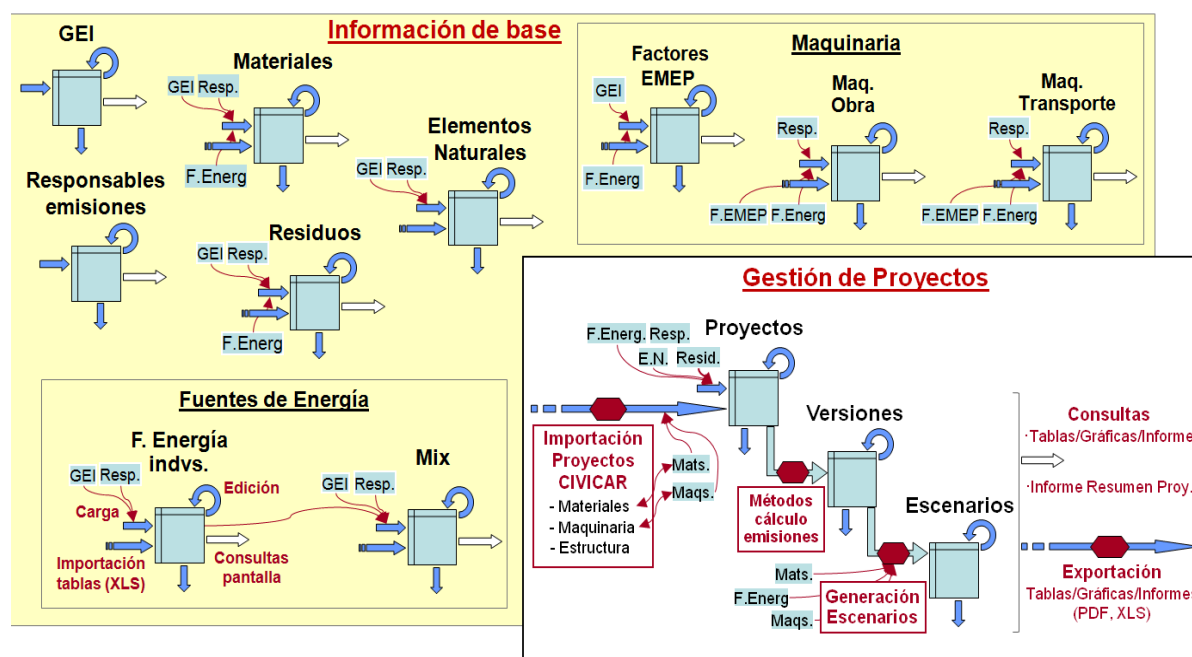
- Modificando el número de unidades por unidad de medición (el inverso del rendimiento de la máquina) y/o el nivel de consumo por hora establecidos por defecto. Específicamente para el caso de la maquinaria de transporte está habilitado un procedimiento automático que permite recalcular el número de unidades por unidad de medición mediante la variación de la distancia de transporte, y teniendo en cuenta la capacidad de carga del vehículo.
- Modificando el tipo de combustible (o fuente de energía) de la maquinaria.
- Modificando el método de cálculo de las emisiones (y del consumo, en última instancia), tomando como referencia una metodología alternativa a la proporcionada por CIVICAR: EMEP/COPERT. En este caso, está habilitada la opción de introducir y modificar parámetros sobre características de la maquinaria que pueden ser distintos de los implementados en la base de datos de CIVICAR (edad, tecnología, tipo de trayecto).

A ese nivel, pero en lo correspondiente a los materiales, el usuario puede optar por materiales alternativos, así como por alternativas diferentes de un material en lo que respecta a las emisiones generadas en las distintas fases de contaminación (producción, preproducción, explotación), además de cambiar el mix eléctrico utilizado en producción o de introducir componentes correspondientes a nuevos materiales. De manera similar, puede introducir y modificar componentes concernientes a residuos.

En la definición de partidas que reflejen el impacto de la ejecución de la obra sobre los elementos naturales, el usuario puede definir –y, por supuesto, editar o borrar– sistemas naturales complejos, compuestos por la combinación de varios elementos naturales distintos (p. ej., arbolado, matorral y herbáceas), incluyendo la realización de un ajuste por cobertura (fracción de cabida cubierta) en los elementos de arbolado. Le es posible también detallar las actividades de gestión de los residuos generados, ya sea para su transporte o reutilización, distinguiendo la vegetación y la tierra vegetal, y obteniendo los resultados de emisiones según la opción. En lo que respecta a la reposición de los elementos, el usuario puede evaluar la captura de CO<sub>2</sub> que implica dicha reposición, o la captación de CO<sub>2</sub> ya sea por desarrollo de las plantaciones (como sistemas incipientes) o por crecimiento de los sistemas más maduros.

Alternativamente, mediante el módulo específico de importación de proyectos editados y exportados en la aplicación CIVICAR, el usuario puede establecer y editar la asignación de equivalencias entre la maquinaria y los materiales del proyecto CIVICAR con los ya existentes en CO<sub>2</sub>NSTRUCT, crear los elementos nuevos requeridos, e importar finalmente el proyecto completo.

En la figura 5.3 se muestran tablas explicadas en los dos últimos apartados. El fin de esta figura es mostrar qué tablas intervienen a la hora de registrar los proyectos, capítulos, unidades de obra y actores contaminantes que intervienen en la configuración de un proyecto en la herramienta para el cálculo de emisiones de GEI.

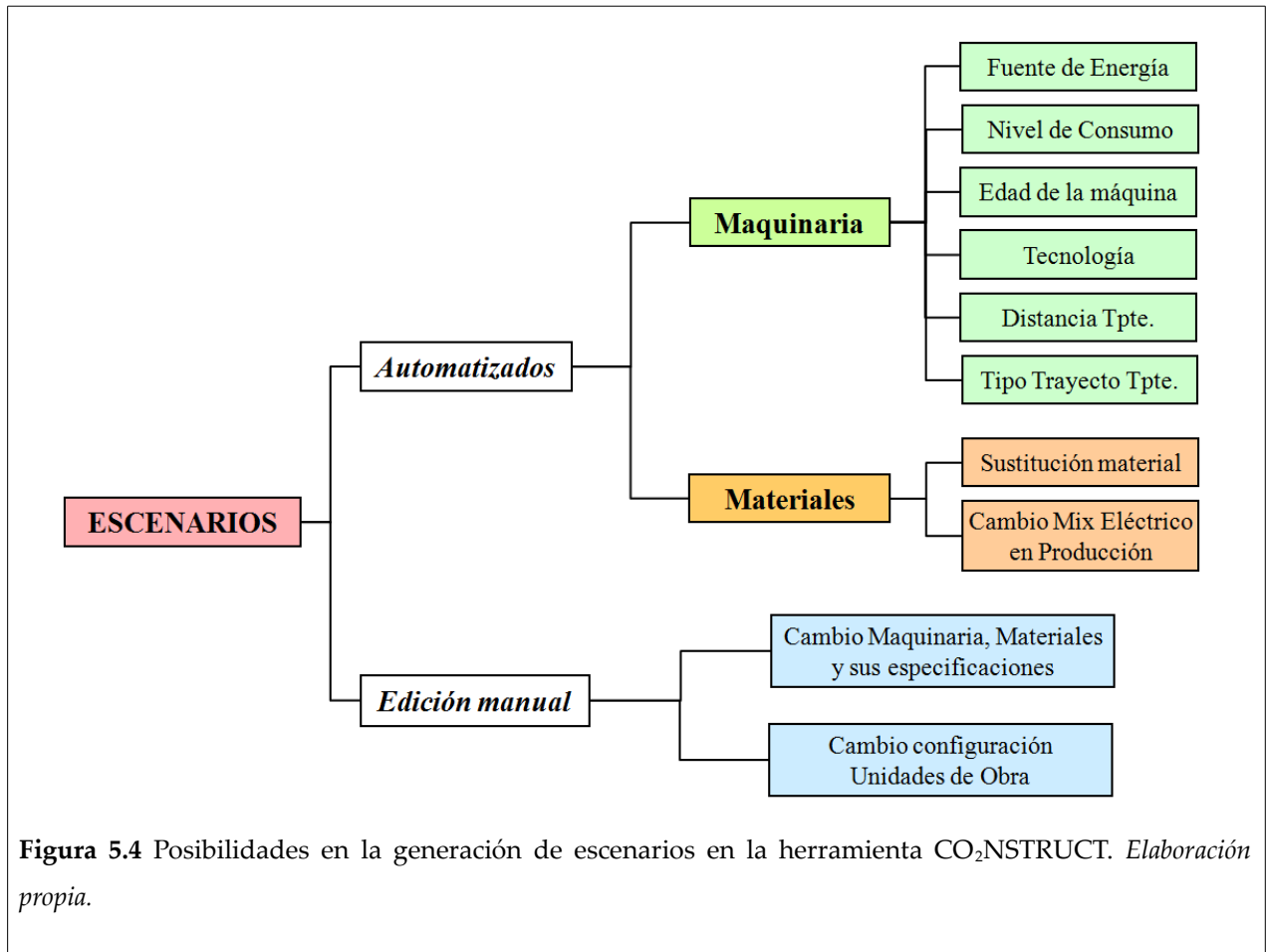


**Figura 5.3** Esquema general del funcionamiento de la herramienta, según la gestión de la información y los proyectos. *Elaboración propia.*

### 5.3.3 Creación de escenarios

En el diseño de la aplicación se ha contemplado explícitamente la posibilidad de crear y analizar diferentes configuraciones de un proyecto. Si bien se ha comentado ya la funcionalidad de crear versiones, éstas se entienden como relacionadas con alternativas distintas de diseño de un proyecto o, también, con la determinación de las emisiones mediante los dos métodos alternativos de cálculo de las mismas implementados en la aplicación. Comparativamente, los diferentes escenarios comprenderían más específicamente los cambios de materiales, maquinaria –y de sus especificaciones– o fuentes de energía, o la incorporación de mejoras técnicas o de gestión, incluyendo tanto las que resulten plausibles como aquellas cuyo análisis teórico pueda resultar revelador.

La aplicación permite crear escenarios dentro de una versión, mediante la implementación de cambios en materiales, maquinaria, o en las especificaciones de los mismos (incluidas las fuentes de energía utilizadas), así como en la configuración de las unidades de obra, como se sintetiza en la figura 5.4.



Es posible modificar individualmente las partidas, las unidades de obra y sus mediciones, los componentes o el número de unidades de éstos, para configurar un escenario específico. Para facilitar la construcción de escenarios en proyectos de construcción –cuya estructura es característicamente compleja– la aplicación incorpora una funcionalidad de configuración automática de un conjunto de escenarios tipo.

En detalle, las opciones de creación de escenarios relativos a la maquinaria son:

- **Cambio del combustible (fuente energética):** es posible cambiar automáticamente el tipo de combustible o el mix eléctrico (máquinas eléctricas) para todas las máquinas de un proyecto, e independientemente para la maquinaria de obra o la de transporte.
- **Cambio de la antigüedad de la máquina:** pueden cambiarse los años de antigüedad para toda la maquinaria e independientemente según el grupo.

- **Cambio del nivel de consumo:** seleccionar uno entre los tres niveles de consumo considerados.
- **Cambio del tipo de tecnología de la maquinaria:** la aplicación muestra la relación de tipos de tecnología que caracterizan la maquinaria del proyecto y permite cambiarlas individualmente.
- **Cambio de la distancia de transporte:** se presentan las unidades de obra en las que se incluye como componente maquinaria de transporte y se proporciona la opción de cambiar la distancia individualmente para cada máquina. El cambio se lleva cabo mediante un factor de multiplicación de la distancia.
- **Cambio del tipo de trayecto en transporte:** es posible cambiar el tipo de trayecto para toda la maquinaria de transporte.

Con relación a los materiales:

- **Cambio del mix eléctrico utilizado en la producción de materiales:** muestra la relación de los materiales utilizados en el proyecto que tienen como fuente energética en producción un mix eléctrico y permite cambiarlo individualmente para cada material.
- **Sustitución de los materiales de construcción:** permite sustituir individualmente cada uno de los materiales utilizados en el proyecto. El mensaje indica la conveniencia de contemplar las posibles diferencias en los cálculos, de transporte, además de otros posibles cambios (maquinarias, rendimientos...) en las correspondientes unidades de obra, que pudiese conllevar el cambio de materiales.

La información relativa a los proyectos-versiones o escenarios está plenamente accesible para su consulta o edición mediante un árbol desplegable correspondiente a la estructura por partidas.

## **5.4 Cálculo de emisiones**

En este apartado se explican los cálculos que se realizan en la aplicación para obtener las emisiones de GEI, así como las reglas de asignación de responsables de emisiones a seguir. Los cálculos que se describen corresponden al nivel mínimo (gas, fuente energética y fase, o elemento

ambiental), pero se han ordenado por actores contaminantes (maquinaria, materiales, residuos, elementos naturales, además del transporte).

Se ha pretendido seguir siempre el objetivo del máximo desglose posible de los cálculos y de los resultados para permitir cualquier tipo de consulta y cálculo (tanto global como parcial).

#### **5.4.1 Emisiones de maquinaria de obra (off-road)**

Los cálculos de las emisiones debidas a la maquinaria de obra tanto en la etapa de construcción como en mantenimiento se describen a continuación.

##### ***Emisiones de maquinaria de obra en la etapa de construcción***

En primer lugar, se multiplica el valor de la “Medición” de la unidad de obra (UO) donde esté la maquinaria de obra en cuestión por el valor de “Nº unidades” por unidad de medición de esa maquinaria, obteniendo así las horas que trabajará esa máquina en esa UO.

A partir de este punto, el cálculo será diferente según el método de cálculo de emisiones de la maquinaria seleccionado (selección que se lleva a cabo para cada versión). Las opciones (salvo en el caso de maquinaria eléctrica, que siempre utiliza la primera opción) son:

- “Sólo en función del consumo de energía”
- “Según las especificaciones de la maquinaria”

En los dos apartados siguientes se explican los cálculos para las máquinas que consumen combustibles, mientras que las que consumen electricidad se explican posteriormente.

##### **a) Opción “Sólo en función del consumo de energía”**

En este primer caso se cogerá el valor del “Factor de consumo por hora” correspondiente al nivel de consumo seleccionado (entre mínimo, medio y máximo) en el componente de la UO, y se multiplicará por el número de horas. El resultado son los litros consumidos de la fuente energética dada. Para pasar estos litros a MJ, se multiplicará por el Factor de conversión correspondiente a la Fuente Energética (en combustibles será su valor de PCI, potencial calorífico inferior):

- en el caso del diesel por 36,722 (MJ/l);
- en el caso del biodiesel por 33,82 (MJ/l);
- gasolina, mezclas de biodiesel+diesel, etc.: obteniendo los MJ de la fuente energética dada.

Siendo en resumen la fórmula:

$$[\text{Medición}] * [\text{N}^\circ \text{ unidades/ud. medición}] * [\text{Factor consumo por hora}] * [\text{Fconvers}] = [\text{Consumo en MJ}]$$

La fuente energética a utilizar para el cálculo es la introducida en el formulario de componente de UO (que puede variar la fuente por defecto de la máquina).

Los MJ obtenidos, en cualquiera de los casos, se multiplicarán por los Factores de Emisión (FE) (de combustión y de precombustión separadamente) de la fuente de energía de la máquina para cada gas, más el valor que aparezca en el campo “Antigüedad de la máquina” introducido en el componente de la UO, por el factor de emisión del gas (de nuevo de combustión y de precombustión separadamente) y por “0,01” (en el caso del CO<sub>2</sub>), por “0,014” (en el caso del CH<sub>4</sub> y fuente energética gasolina o etanol), por “0,015” (en el caso del CH<sub>4</sub> y fuente energética diésel o biodiesel); y por “0” en el resto de casos (N<sub>2</sub>O, etc), como extensión del criterio propuesto por la metodología EMEP.

Las fórmulas quedarían como sigue:

- CO<sub>2</sub>:  
$$[\text{Consumo MJ}] * ([\text{FE GEI}] + ([\text{FE GEI}] * [\text{Antigüedad máquina}] * [0,01]))$$
- CH<sub>4</sub> y fuente energética gasolina o etanol:  
$$[\text{Consumo MJ}] * ([\text{FE GEI}] + ([\text{FE GEI}] * [\text{Antigüedad máquina}] * [0,014]))$$
- CH<sub>4</sub> y fuente energética diésel o biodiesel:  
$$[\text{Consumo MJ}] * ([\text{FE GEI}] + ([\text{FE GEI}] * [\text{Antigüedad máquina}] * [0,015]))$$
- N<sub>2</sub>O:  
$$[\text{Consumo MJ}] * ([\text{FE GEI}] + ([\text{FE GEI}] * [\text{Antigüedad máquina}] * [0]))$$

Se obtienen de esta manera las emisiones de los distintos GEI correspondientes a la fuente energética (combustible) consumida por la maquinaria de obra seleccionada en la UO, por separado para la fase de Combustión y la fase de Precombustión.

#### **b) Opción “Según especificaciones de la maquinaria”**

En este segundo caso se cogerá la “Fuente energética” y el “Tipo tecnología máquina” seleccionados en el componente de UO, que junto con el “Tipo de motor” y la “Potencia” de la máquina permiten determinar la entrada correspondiente en la tabla EMEP para trabajar con los valores de consumo, factor de emisión de CO<sub>2</sub>, factor de emisión de CH<sub>4</sub> y factor de emisión de N<sub>2</sub>O de esa entrada.

Con el valor de consumo resultante según la tabla EMEP, se multiplicará por el número de horas de la máquina y por su potencia (kW), obteniendo así los litros de combustible consumido.

1) Emisiones de Combustión: Para calcular las emisiones de combustión, se multiplicarán estos litros por los factores de emisión de la tabla EMEP para cada gas, más el valor que aparezca en el campo “Antigüedad de la máquina” introducido en el componente de la UO por el factor de emisión EMEP del gas y por “0,01” (en el caso del CO<sub>2</sub>), por “0,014” (en el caso del CH<sub>4</sub> y fuente energética gasolina o etanol), por “0,015” (en el caso del CH<sub>4</sub> y fuente energética diésel o biodiésel); y por “0” en el resto de casos (N<sub>2</sub>O, etc). La fuente de energía es la introducida en el formulario de componente de UO. Las fórmulas quedarían como sigue:

- CO<sub>2</sub>:  
$$[I \text{ EMEP}] * ([FE \text{ GEI EMEP}] + ([FE \text{ GEI EMEP}] * [Antigüedad \text{ máquina}] * [0,01]))$$
- CH<sub>4</sub> y fuente energética gasolina o etanol:  
$$[I \text{ EMEP}] * ([FE \text{ GEI EMEP}] + ([FE \text{ GEI EMEP}] * [Antigüedad \text{ máquina}] * [0,014]))$$
- CH<sub>4</sub> y fuente energética diésel o biodiésel:  
$$[I \text{ EMEP}] * ([FE \text{ GEI EMEP}] + ([FE \text{ GEI EMEP}] * [Antigüedad \text{ máquina}] * [0,015]))$$
- N<sub>2</sub>O:  
$$[I \text{ EMEP}] * ([FE \text{ GEI EMEP}] + ([FE \text{ GEI EMEP}] * [Antigüedad \text{ máquina}] * [0]))$$



Se obtienen de esta manera las emisiones de los distintos GEI correspondientes a la fuente energética (combustible) consumida por la maquinaria de obra seleccionada en la UO, sólo para la fase de combustión.

El valor de emisiones en combustión tendrá como responsable de emisiones a aquel seleccionado en el componente de UO. Esto es, se sustituye el responsable de la fase combustión del combustible por el del componente de UO.

2) Emisiones de Precombustión: para calcular las emisiones en esta fase, habrá que pasar primero los litros de combustible a MJ. Para ello se repetirá el procedimiento descrito en la opción de “Sólo en función del consumo de energía”.

Los MJ obtenidos se multiplicarán por los factores de emisión (FE) (en este caso sólo el de precombustión de cada gas) según la fuente energética de que se trate y la antigüedad de la máquina, repitiendo de nuevo lo descrito en “Sólo en función del consumo de energía”.

Nótese la diferencia de que los factores de emisión de combustión se toman de la tabla EMEP y los factores de emisión de precombustión se toman de la fuente energética seleccionada.

Se obtienen de esta manera las emisiones de los distintos GEI correspondientes a la fuente energética (combustible) consumida por la maquinaria de obra seleccionada en la UO, sólo para la fase de precombustión.

### **c) Máquinas que consumen electricidad**

En el caso de las máquinas que consumen electricidad, haciendo la misma operación que en el caso de los combustibles (Medición x N° unidades x Factor de consumo por hora), donde el Factor de consumo será en este caso igual a la Potencia, tendremos como resultado en este caso kWh de la fuente energética dada. Para pasar a MJ, en este caso se multiplicará también por un Factor de conversión (que será 3,6, el factor de conversión de kWh a MJ) obteniendo así los MJ de la fuente energética dada, con la misma fórmula que en combustibles:

$$[\text{Medición}] * [\text{N}^\circ \text{ unidades/ud. medición}] * [\text{Factor consumo por hora}] * [\text{Fconvers}] = [\text{Consumo en MJ}]$$

1) Mix eléctrico:

Utilizando las proporciones de las diferentes fuentes de cada mix especificadas en su respectivo formulario, se determinan las emisiones correspondientes a tales fuentes debidas al consumo de electricidad de la maquinaria eléctrica, utilizando los factores de emisión de las fuentes energéticas del mix:

$$[\text{Consumo en MJ del Mix}] * [\% \text{FuenteEnergía}_i \text{ en el Mix}] * [\text{FE GEI FuenteEnergía}_i] = [\text{Emisión GEI FuenteEnergía}_i]$$

Obteniendo de esta manera las emisiones de los distintos GEI correspondientes a las fuentes energéticas implicadas en la generación de ese mix y debidas al consumo de electricidad de la maquinaria eléctrica seleccionada en la UO, obteniendo el desglose en emisiones de GEI por Combustión y por Precombustión de cada fuente energética.

2) Electricidad Renovables y Electricidad máquinas: se procederá igual que en combustibles.

***Emisiones de maquinaria de obra en la etapa de mantenimiento***

El procedimiento de cálculo será el mismo que en la fase de construcción, salvo que en el primer cálculo de “Mediciones” por “Nº unidades” se deberá multiplicar además por los campos del componente de la UO denominados “Ejecuciones por año” y “Años de ejecución durante la vida útil”. Este valor serán las horas de uso de la maquinaria en la vida útil del proyecto. Una vez obtenido este dato, las ecuaciones a utilizar son las mismas que en el apartado anterior.

**5.4.2 Emisiones de materiales**

Los cálculos de las emisiones debidas a materiales tanto en la etapa de construcción como en mantenimiento se describen a continuación.

***Emisiones de materiales en la etapa de construcción***

Se multiplicará el valor de la “Medición” de la UO donde esté el material en cuestión por el valor de “Nº unidades” por unidad de medición de este material obteniendo la cantidad de material necesario en esa UO (dependiendo del tipo de unidad que se haya seleccionado en ese material, kg, tm, m<sup>3</sup>, m<sup>2</sup>).

$$[\text{Cant. Material necesario}] = [\text{Medición}] * [\text{N}^{\circ} \text{ unidades}]$$

### Emisiones en la fase de producción

#### A) Emisiones dependientes del consumo de energía:

##### A.1. Emisiones de combustibles:

En cuanto a las emisiones dependientes de la energía en producción, se multiplicará el valor anterior (cantidad de material necesario (ud. material)) por el valor de cada uno de los combustibles empleados en la producción (en MJ/unidad de material) y por el factor de emisión (separadamente para combustión y precombustión) de cada una de esos combustibles (g/MJ).

Se calculará para cada combustible sus emisiones para cada GEI (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O).

$$[\text{EmisGEI Combustible}_i] = [\text{Cant. Mat. Nec.}] * [\text{Valor Combustible}_i] * [\text{FE GEI Combustible}_i]$$

De este modo se obtendrá desglosado las emisiones de GEI por Combustión y por Precombustión de cada combustible.

##### A.2. Emisiones de Electricidad:

###### - Mix eléctrico:

En cuanto a las emisiones dependientes de la energía eléctrica en producción, se multiplicará el valor de cantidad de material necesario (ud. material) por el valor de consumo del mix empleado en la producción (en MJ/unidad de material), por el porcentaje de cada una de las diferentes fuentes especificadas en el formulario del mix y por el factor de emisión (separadamente para combustión y precombustión) de cada una de esas fuentes energéticas (g/MJ).

$$[\text{EmisGEI FuenteEnergía}_i] = [\text{Cant. Mat. Nec.}] * [\text{Valor Mix en MJ}] * [\% \text{ FuenteEnergía}_i \text{ en el Mix}] * [\text{FE GEI FuenteEnergía}_i]$$

Se obtienen de esta manera las emisiones de los distintos GEI correspondientes a las fuentes energéticas implicadas en la generación de ese mix y debidas al consumo de electricidad en la

producción del material seleccionado en la UO, obteniendo el desglose en emisiones de GEI por Combustión y por Precombustión del mix y de cada fuente energética.

- Electricidad Renovables: se hará igual que en combustibles.

El valor de estas emisiones en producción-combustión de esta electricidad de renovables (que son cero por definición) tendrá como responsable el especificado en la configuración del componente de UO, es decir, se sustituye al responsable introducido en la fase de producción del material.

B) Emisiones independientes de la energía (o de proceso):

En cuanto a las emisiones independientes de energía, se multiplicará cada factor de emisión independiente de la energía por el valor cantidad de material necesario,

$$[\text{EmisGEI Indep.}] = [\text{Cant. Mat. Nec.}] * [\text{FE GEI Indep.}]$$

obteniendo así las emisiones de GEI Independientes de la energía en producción, en este caso, para cualesquiera de los gases que se hayan considerado por generarse en el proceso de producción del material.

En lo que respecta a materiales, el signo de estas emisiones (si emite o capta GEI) se determinará en los factores de emisión correspondientes al apartado “Emisiones independientes de la energía”, en el formulario del mismo.

### **Emisiones en Preproducción**

En cuanto a las emisiones en preproducción, se multiplicará cada factor de emisión de preproducción por el valor cantidad de material necesario,

$$[\text{EmisGEI Preprod.}] = [\text{Cant. Mat. Nec.}] * [\text{FE GEI Preprod.}]$$

obteniendo así las emisiones de GEI en preproducción, en este caso, para cualesquiera de los gases que se hayan considerado por generarse en el proceso de preproducción del material.

### ***Emisiones de materiales en la etapa de mantenimiento***

El procedimiento de cálculo será el mismo que en la etapa de construcción, salvo que el producto de “Mediciones” por “Nº unidades” se deberá multiplicar, además, por los campos del componente de UO denominados “Ejecuciones por año” y “Años de ejecución durante la vida útil”. Este valor será la cantidad de material a emplear en la vida útil del proyecto.

$$[\text{Cant. Mat. Nec. MyE}] = [\text{Mediciones}] * [\text{Nº unidades}] * [\text{Ejecuciones por año}] * [\text{Años ejecuc. en vida útil}]$$

Se deberá atender a continuación al selector “Usar factor emisión explotación” (por defecto, no estará seleccionada esta opción).

- Opción “factor de emisión explotación” no seleccionada:

En el caso por defecto, se continuará con los cálculos explicados para la etapa de construcción (en el caso de que el material no tenga rellenado el factor de emisión en fase de explotación, no será posible seleccionar esta opción).

- Opción “factor de emisión explotación” seleccionada:

En este caso, el factor de emisión/captación (con signo positivo o negativo, respectivamente) que se utilizará para el cálculo será el correspondiente a la fase de explotación. Para ello el factor de emisión de la fase de explotación se multiplicará por el valor anterior (Cantidad Material Necesario MyE) obteniéndose las emisiones de GEI debidas al material en la etapa de mantenimiento. Este caso, el componente representa las emisiones/captaciones de GEI que puede tener un material ya ubicado en las infraestructuras a lo largo de la vida útil considerada para ésta, y el valor de “Años de ejecución en vida útil” implica el periodo que se considerarán esas emisiones/captaciones (atendiendo también a la referencia temporal respecto a la que se ha definido dicho factor).

### **5.4.3 Emisiones y captaciones de Sistemas Naturales**

Los cálculos de las emisiones debidas a la afección o reposición de los Sistemas naturales (S.N.), tanto en la etapa de construcción como en mantenimiento, se describen a continuación.

### ***Balance de CO<sub>2</sub> de los sistemas naturales en la etapa de construcción***

Se multiplicará la “Medición” de la Unidad de Obra donde esté el sistema ambiental en cuestión por el valor de “Nº unidades” de este elemento, obteniendo así la superficie de sistema ambiental afectada para esa UO. Se considera por defecto que se trata con un sistema ambiental, compuesto por una categoría principal que puede ir acompañada de hasta dos categorías secundarias. Considerando, entonces, en primer lugar la categoría principal del sistema ambiental objeto de estudio, se tiene:

$$[\text{m}^2 \text{ S.N. Categ. Principal}] = [\text{Mediciones}] * [\text{N}^\circ \text{ unidades}]$$

En el caso de que la categoría principal corresponda a un elemento del grupo “Arbolado”, se atenderá a continuación a la selección del valor de “Fracción Cobierta Cubierta”: según esté seleccionado “20-39 %”, “40-69 %” ó “70-100 %”, el valor de superficie se multiplicará por un factor de multiplicación de 0,50; 0,91 ó 1,64, respectivamente. De este modo, cuando sea aplicable la corrección por “Fracción Cobierta Cubierta”, la fórmula será:

$$[\text{m}^2 \text{ S.N. Categ. Principal}] = [\text{Mediciones}] * [\text{N}^\circ \text{ unidades}] * [\text{Factor multipl. FCC}]$$

Se atenderá también a la opción “Tipo de compartimento de los Sistemas naturales a considerar” en el componente de UO, (con las opciones “Todos”, “Biomasa” o “Tierra vegetal”). Según la selección, el cálculo del CO<sub>2</sub> será diferente:

- Caso “Biomasa”: se sumarán los valores de los campos “CO<sub>2</sub> Biomasa vegetal (kg/m<sup>2</sup>)” y “CO<sub>2</sub> Madera muerta (kg/m<sup>2</sup>)”, del sistema ambiental y se multiplicarán por el valor obtenido anteriormente (m<sup>2</sup> S.N. Categ. Principal -caso arbolado-), y como resultado se obtienen los kg de CO<sub>2</sub> correspondientes al S.N. categoría principal.
- Caso “Tierra vegetal”: se sumarán los valores de los campos “CO<sub>2</sub> Detritos sobre el suelo (kg/m<sup>2</sup>)” y “CO<sub>2</sub> en el suelo (kg/m<sup>2</sup>)” y se multiplicarán por el valor obtenido anteriormente (m<sup>2</sup> S.N. Categ. Principal -caso arbolado-), y como resultado se obtienen los kg de CO<sub>2</sub> correspondientes al S.N. categoría principal.

- Caso “Todos” (biomasa y tierra vegetal): es el resultado de aplicar los dos casos anteriores a la vez y sumando los resultados se obtienen los kg de CO<sub>2</sub> correspondientes al S.N. categoría principal.

Se atenderá, por último, al selector “Signo de las emisiones” que determina el signo de las emisiones (emisiones o captaciones de CO<sub>2</sub>). Las emisiones serán positivas por defecto; pero si está seleccionado como negativas, el valor anterior resultante se contabilizará como negativo, con el fin de descontar estas emisiones.

En el caso de existir Categorías Secundarias, se calculará del mismo modo la superficie de categoría/s secundaria/s de esa UO (en este caso no existe opción de fracción de cabida cubierta).

$$[\text{m}^2 \text{ S.N. Categ. Secundaria}] = [\text{Mediciones}] * [\text{N}^\circ \text{ unidades}]$$

En el caso de categorías secundarias, el “Tipo de Compartimento” (ahora como campo oculto) vendrá seleccionado, según los casos en la opción “Biomasa” o “Nada”, de modo que se considerará:

- Caso Biomasa: se sumarán los valores de los campos “CO<sub>2</sub> Biomasa vegetal (kg/m<sup>2</sup>)” y “CO<sub>2</sub> Madera muerta (kg/m<sup>2</sup>)” y se multiplicarán por el valor obtenido anteriormente (m<sup>2</sup> S.N. Categ. secundaria), y como resultado se obtienen los kg de CO<sub>2</sub> correspondientes al S.N. categoría secundaria.
- Caso Nada: en este caso no se hará ningún cálculo para la categoría secundaria.

Se atenderá, por último, al “Signo de las emisiones”, del mismo modo que el descrito anteriormente.

### ***Balance de CO<sub>2</sub> de los sistemas naturales en la etapa de mantenimiento***

El procedimiento de cálculo será el mismo que en la etapa de construcción, salvo que en el primer cálculo de “Mediciones” por “Nº unidades” (y por la fracción de cabida cubierta en su caso) de cada categoría se deberá multiplicar, además, por los campos del componente de la UO denominados “Ejecuciones por año” y “Años de ejecución durante la vida útil”.

$$[\text{m}^2 \text{ S.N. MyE}] = [\text{Mediciones}] * [\text{N}^\circ \text{ unidades}] * [\text{Ejecuciones por año}] * [\text{Años ejecuc. durante vida útil}]$$

A partir de aquí, hay una variación con respecto a la etapa de construcción. Existe la opción de utilizar el factor de captación de CO<sub>2</sub> (“Usar factor emisión absorción”) que por defecto no estará seleccionada. Si es así, el cálculo a partir de aquí se hará igual que en la fase anterior. Esto corresponde a la instauración de un sistema natural en un año determinado y por tanto el valor de “Años de ejecución durante la vida útil” debe ser igual a uno.

Cuando esté seleccionada, lo que se utilizará será el factor de absorción de este S.N. (kg CO<sub>2</sub> absorbidos/m<sup>2</sup>·año; ya sea captación de CO<sub>2</sub> por desarrollo de un sistema incipiente como una plantación, o por crecimiento de la vegetación en un sistema establecido, durante un plazo de varios años), del siguiente modo:

El valor resultante del cálculo anterior (m<sup>2</sup> S.N. MyE) se multiplicará por el factor de absorción del S.N. (se hará esta operación tanto para la categoría principal como para las secundarias, si las hubiera y tuvieran especificado un factor de absorción). El resultado serán los kg de CO<sub>2</sub> absorbidos en la vida útil por el S. N. en cuestión. Cuando se seleccione esta opción, el campo “Signo de las emisiones” deberá seleccionarse en “Negativas”; de este modo, las emisiones (en kg CO<sub>2</sub>) se contabilizarán como negativas (captaciones) para descontarlas en los balances subsiguientes.

#### **5.4.4 Emisiones de residuos**

Los cálculos de las emisiones debidas a los residuos tanto en la etapa de construcción como en mantenimiento se describen a continuación.

##### ***Emisiones de residuos en la etapa de construcción***

El procedimiento de cálculo de las emisiones de los residuos en la etapa de construcción será del siguiente modo: se cogerá el valor de “Mediciones” de la UO y se multiplicará por el valor del campo “Nº unidades” para obtener la cantidad de residuo generado.

Para los residuos se consideran las emisiones en fase de vertedero: este apartado será igual que el de fase de producción de materiales, puesto que existirán emisiones dependientes de



energía (con combustibles y electricidad) y emisiones (que se tratarán como las emisiones independientes de la energía en materiales).

En lo que respecta a residuos, el signo de las emisiones (si emite o capta GEI) se determinará en los factores de emisión correspondientes al apartado “Emisiones” (las que no dependen de la energía), en el formulario del mismo.

#### ***Emisiones de residuos en la etapa de mantenimiento***

El procedimiento de cálculo será el mismo que en la etapa de construcción, salvo que en el primer cálculo de “Mediciones” por “Nº unidades” se deberá multiplicar además por los campos del componente de la UO denominados “Ejecuciones por año” y “Años de ejecución durante la vida útil”. Este valor será la cantidad de residuos generados en la vida útil del proyecto. A partir de aquí las ecuaciones a utilizar son las mismas que en el apartado anterior.

#### **5.4.5 Emisiones de maquinaria de transporte**

Los cálculos de las emisiones debidas a la maquinaria de transporte, tanto en la etapa de construcción como en la de mantenimiento, se describen a continuación.

#### ***Emisiones de maquinaria de transporte en la etapa de construcción***

El cálculo será diferente según el método de cálculo de emisiones de la maquinaria seleccionado (selección que se lleva a cabo para cada versión). Las peculiaridades de para cada una de las dos opciones se describen en los apartados siguientes.

##### **a) Opción “Sólo en función del consumo de energía”**

En este primer caso se seguirá lo explicado en el apartado de emisiones de la maquinaria de obra (off-road) en la etapa de construcción, para esta misma opción de cálculo.

##### **b) Opción “Según especificaciones de la maquinaria”**

En este segundo caso, primero se multiplicarán las “Mediciones” de la UO por el “Nº km por unidad de obra”, obteniéndose los kilómetros a realizar por la máquina de transporte en la UO.

$$[\text{km}] = [\text{Medición}] \times [\text{km por UO}]$$

Después se cogerá la “Fuente energética”, el “Tipo tecnología máquina” y el “Tipo de trayecto” seleccionados en el componente de UO, que junto con el “Tipo de camión” determinado por el tipo de maquinaria al que pertenece el vehículo, permiten determinar la entrada correspondiente en la tabla COPERT para trabajar con los valores de consumo, factor de emisión de CO<sub>2</sub>, factor de emisión de CH<sub>4</sub> y factor de emisión de N<sub>2</sub>O de esa entrada.

1) Emisiones de Combustión: Para calcular las emisiones de combustión, se multiplicarán estos kilómetros por los factores de emisión (FE) de la tabla COPERT para cada gas, más el valor que aparezca en el campo “Antigüedad de la máquina” introducido en el componente de la UO por el factor de emisión del gas de la tabla COPERT y por “0,01” (en el caso del CO<sub>2</sub>), por “0,014” (en el caso del CH<sub>4</sub> y fuente energética gasolina o etanol), por “0,015” (en el caso del CH<sub>4</sub> y fuente energética diésel o biodiésel); y por “0” en el resto de casos (N<sub>2</sub>O, etc). La fuente de energía es la introducida en el formulario de componente de UO. Las fórmulas quedarían como sigue:

- CO<sub>2</sub>:  
$$[\text{km}] * ([\text{FE GEI COPERT}] + ([\text{FE GEI COPERT}] * [\text{Antigüedad máquina}] * [0,01]))$$
- CH<sub>4</sub> y fuente energética gasolina o etanol:  
$$[\text{km}] * ([\text{FE GEI COPERT}] + ([\text{FE GEI COPERT}] * [\text{Antigüedad máquina}] * [0,014]))$$
- CH<sub>4</sub> y fuente energética diésel o biodiésel:  
$$[\text{km}] * ([\text{FE GEI COPERT}] + ([\text{FE GEI COPERT}] * [\text{Antigüedad máquina}] * [0,015]))$$
- N<sub>2</sub>O:  
$$[\text{km}] * ([\text{FE GEI COPERT}] + ([\text{FE GEI COPERT}] * [\text{Antigüedad máquina}] * [0]))$$

Se obtienen de esta manera las emisiones de los distintos GEI correspondientes a la fuente energética (combustible) consumida por la maquinaria de transporte seleccionada en la UO, sólo para la fase de combustión.

El valor de emisiones en combustión tendrá como responsable de emisiones a aquel seleccionado en el componente de la UO. Esto es, se sustituye el responsable de la fase de combustión del combustible por el del componente de UO.

2) Emisiones de Precombustión: para calcular las emisiones en esta fase, habrá que calcular primero los litros de combustible. Para ello se multiplican los kms por el factor de consumo

correspondiente de la tabla COPERT, obteniendo así los litros. Luego habrá que pasar los litros de combustible a MJ; para ello se repetirá el procedimiento descrito para maquinaria de obra en la opción “Sólo en función del consumo de energía”.

Los MJ obtenidos se multiplicarán por los factores de emisión (en este caso sólo el de precombustión de cada gas) según la fuente energética de que se trate y la antigüedad de la máquina, repitiendo de nuevo lo descrito para maquinaria de obra en la opción de “Sólo en función del consumo de energía”.

#### ***Emisiones de maquinaria de transporte en la etapa de mantenimiento***

El procedimiento de cálculo será el mismo que en la etapa de construcción, salvo que en el primer cálculo de “Mediciones” por “Nº unidades” (en ambos modos de cálculo) se deberá multiplicar además por los campos del componente de la UO denominados “Ejecuciones por año” y “Años de ejecución durante la vida útil”. Este valor serán las horas de uso o los kilómetros realizados (dependiendo del modo de cálculo) de la maquinaria de transporte en la vida útil del proyecto. A partir de aquí las ecuaciones a utilizar son las mismas que en el apartado anterior.

#### **5.4.6 Cálculo del agregado de emisiones de CO<sub>2</sub>e**

El resultado total de emisiones de CO<sub>2</sub>e en cualquier caso será el producto del valor de emisiones de cada gas por el campo “Potencial Calentamiento Global (100 años)” correspondiente a dicho gas, y sumando luego los resultados de los distintos GEI, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$[\text{Emisiones totales CO}_2\text{e}] = ([\text{Emisión CO}_2] \times [\text{PCG 100a CO}_2]) + ([\text{Emisión CH}_4] \times [\text{PCG 100a CH}_4]) + ([\text{Emisión N}_2\text{O}] \times [\text{PCG 100a N}_2\text{O}]) + \text{etc.}$$

#### **5.4.7 Asignación de la responsabilidad de las emisiones**

Tal y como se ha mencionado anteriormente, la herramienta es capaz de asignar emisiones en principio de forma consistente con la propuesta CO<sub>2</sub>NSTRUCT del capítulo 4. En la figura 4.3, que esquematizaba la propuesta, se recogen los responsables por defecto de las diferentes emisiones.

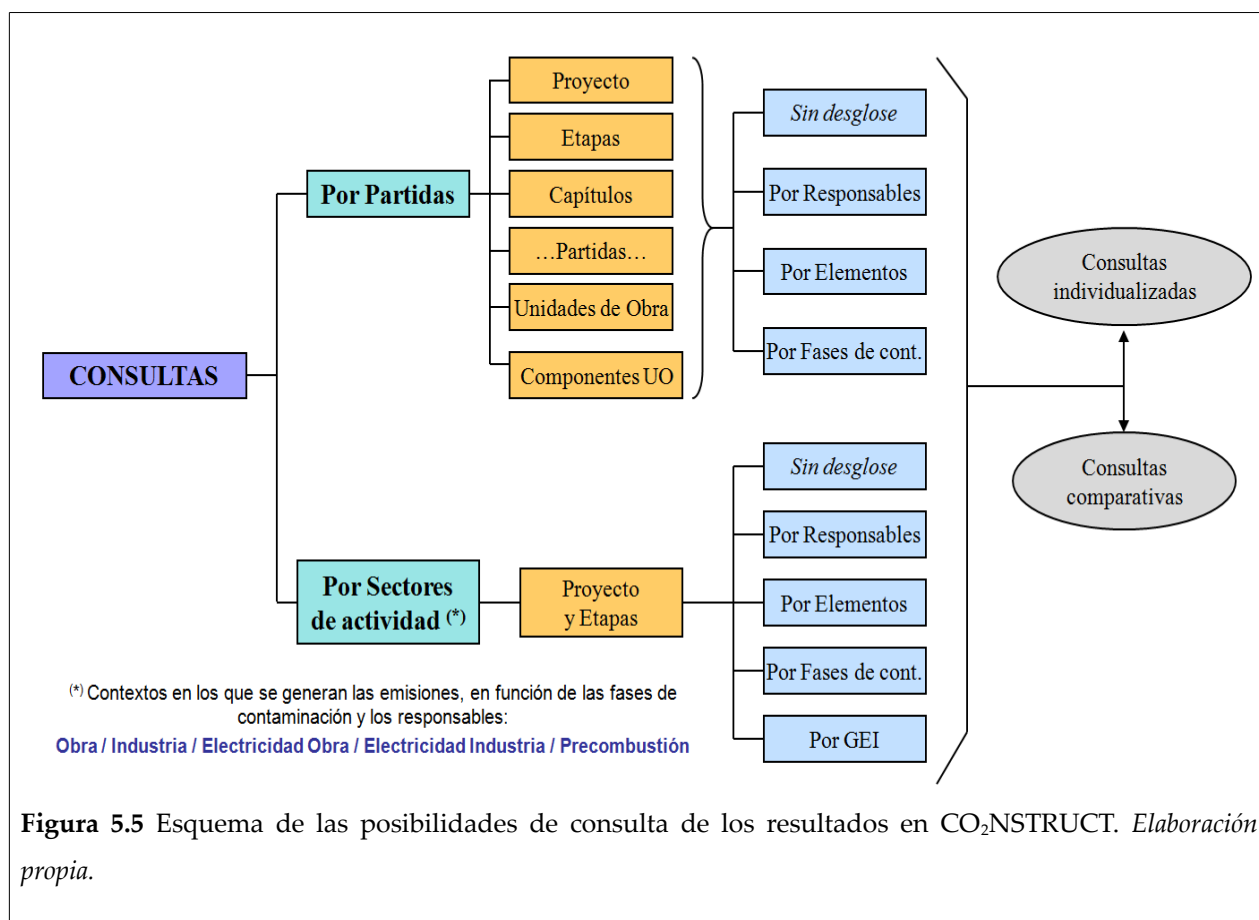
Es posible cambiar al responsable de las emisiones en cada elemento, fase o subfase de contaminación directamente en la herramienta, por lo que no es una atribución cerrada. Además, existe la posibilidad de crear nuevos responsables, opción interesante si intervienen otros agentes no contemplados por defecto, como subcontratas, transportistas... Esta flexibilidad para adaptarse a situaciones diferentes es necesaria sobre todo en casos donde se dan la reutilización de materiales o residuos, o si se desea particularizar por empresas en un proyecto concreto.

### **5.5 Salida de resultados**

Una vez completado un proyecto, el usuario podrá entonces ejecutar los cálculos de emisiones de GEI para su proyecto. Los cálculos relativos a un proyecto son susceptibles de actualización (mediante los correspondientes dispositivos y registro de la fecha de última actualización) cada vez que el usuario lo considere conveniente; esto permite que cualquier actualización o corrección de errores realizada en la información de referencia del proyecto (base de datos) o en los procedimientos de cálculo, pueda ser incorporada a un proyecto creado con anterioridad a dicho cambio.

Los cálculos se realizan al nivel mayor de desglose (elemento o actor contaminante, fase de contaminación, GEI y responsable) y posteriormente se agrupan según el tipo de consulta. Se proporcionan las emisiones en kg de cada GEI y el agregado de emisiones de todos los GEI en kg de CO<sub>2</sub>e.

La organización de la información de base y de los cálculos de emisiones en la base de datos permite una multitud de posibilidades de consultas, incluyendo consultas comparativas entre versiones o escenarios. En esta versión de la aplicación, se han seleccionado aquellas consultas que en primera instancia se ha considerado resultaban más completas y/o más expresivas con respecto a los resultados de la aplicación. Las consultas se estructuran, en primera instancia, por partidas del proyecto –con todos los posibles niveles de detalle en el análisis del árbol de partidas– o por sectores de actividad, con niveles adicionales de desglose de la información sobre las emisiones (por responsable, elemento, fases de contaminación, GEI), como se ilustra en la figura 5.5.



**Figura 5.5** Esquema de las posibilidades de consulta de los resultados en CO<sub>2</sub>NSTRUCT. *Elaboración propia.*

La primera categoría de consultas, Por Partidas, es el equivalente al desglose progresivo del presupuesto de un proyecto pero, en este caso, valorando los ítems en términos de emisiones de GEI.

La segunda, Por Sectores de actividad, muestra las emisiones distribuidas según una agrupación por sectores en los que se producen las emisiones (contextos que combinan las fases emisión y los responsables de las emisiones, para dar una figura global expresiva), según el esquema detallado en el capítulo de responsables, epígrafe 4.3.2 (pág 116).

Para ambas categorías se da la opción de un desglose adicional de la información. Además las consultas pueden llevarse a cabo individualmente o de forma comparativa entre versiones. Los desgloses adicionales serían:

- Por elementos o actores contaminantes
- Por fases de contaminación

- Por responsables
- Por GEIs

Los resultados incluyen las tablas y gráficas correspondientes, además de la documentación sobre el proyecto-versión, la información de base utilizada y la configuración del proyecto. Pueden compilarse en un informe particular de consulta o, alternativamente, generar un informe resumen de un proyecto completo. Todos estos resultados son exportables en formato PDF, y las tablas pueden además copiarse directamente a EXCEL.

En detalle, incluyen:

- **Tablas:** presenta los resultados numéricos correspondientes a las emisiones de cada GEI y/o al agregado de emisiones en kg de CO<sub>2</sub>e, organizados según el tipo de consulta y la opción de desglose adicional seleccionados.
- **Gráficas:** muestra las gráficas de los datos tabulados, individualmente o de forma comparativa entre versiones, según la selección.
- **Informe de resultados de la consulta:** presenta los detalles del proyecto y versión (o versiones), la documentación de la información de base correspondiente a cada consulta y la correspondiente a la configuración de los componentes de unidad de obra en el proyecto, incluyendo también opcionalmente las tablas y gráficas para su exportación completa a PDF.
- **Informe general de un Proyecto-versión:** informe resumen de los resultados para un proyecto-versión completo, también exportable a un archivo PDF. Este informe incluye los mismos apartados generales que el informe de consulta, pero siempre para el conjunto del proyecto y con una selección predeterminada de resultados.

## **6 Casos de estudio y resultados**

### **6.1 Casos de estudio**

El desarrollo de la herramienta CO<sub>2</sub>NSTRUCT y toda la metodología que la sostiene carece de interés si no se aplica a proyectos concretos. En este sentido, se ha aplicado la metodología resumida en los capítulos anteriores a cuatro proyectos recientes de carreteras en España. Los proyectos incluidos como casos de estudio no pretenden ser una muestra representativa de los proyectos en España, a pesar de que cubren diversas tipologías de proyecto. El principal objetivo es dar una primera aproximación en términos de rango de magnitud de las emisiones en proyectos de carretera. El dimensionamiento de las emisiones de GHG en proyectos concretos es solo un primer paso para entender la contribución total del sector en España.

Estos casos han sido desarrollados con un trabajo conjunto con las constructoras implicadas en estos proyectos. Trabajamos con los datos contenidos en el proyecto que servirá de base a la constructora en su proceso de ejecución, pero que puede sufrir modificaciones durante su construcción. Este hecho añade incertidumbre sobre los plazos reales, que pueden interferir en los cálculos debido a las asunciones metodológicas tomadas anteriormente, sobre todo en lo concerniente a sistemas naturales (puede existir un tiempo entre la destrucción del sistema ambiental y la realización de la restauración subsiguiente).

A continuación se ofrece una breve contextualización de los cuatro proyectos.

#### **6.1.1 Proyecto 1: Autovía IV Centenario, tramo Ciudad Real – Granátula de Calatrava**

La Autovía IV Centenario constituye uno de los ejes en sentido Este-Oeste en la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha, y es de especial importancia para las comarcas manchegas. El proyecto analizado comprende la adecuación de un acceso a Ciudad Real, hasta el cruce entre las actuales CM-412 y CM-4111, donde comienza la autovía propiamente dicha, que llega en este tramo hasta el término de Granátula de Calatrava, al este. La longitud total es de 30,360 km, donde se ejecutarán un total de cuatro carriles, dos en cada sentido.

La orografía es casi llana, siendo compensado en gran medida el movimiento de tierras perteneciente a los desmontes con la formación de terraplenes necesarios para los enlaces y otros pasos superiores.

#### **6.1.2 Proyecto 2: Autovía del Mediterráneo, tramo La Gorgoracha - N 340**

El trazado de este proyecto, de una longitud total de aproximadamente 9,225 km, inicia su recorrido a unos 3 km al norte de Motril, próximo al límite del término municipal en las proximidades del túnel de La Gorgoracha y discurriendo por su lado este hacia el sur, finalizando en el Puerto de Motril. Esta obra está dividida en dos subtramos. El subtramo 1, La Gorgoracha – Puntalón, es la prolongación de la autovía del mediterráneo, con dos carriles en cada sentido y una longitud de 6,453 km. El subtramo 2, Puntalón – Enlace 340 actual, o nuevo acceso al Puerto de Motril se trata de una carretera convencional de nuevo trazado y posee una longitud de 2,300 km.

La zona de estudio se sitúa en el término municipal de Motril (Granada) presentando, desde el punto de vista geográfico, dos entornos marcadamente diferenciados que, aproximadamente, coinciden con cada uno de los subtramos del presente proyecto. Por un lado, en su sector septentrional, se sitúa un área con un marcado carácter abrupto constituida por la Sierra de Lújar y, por otro lado, el sector meridional conformado por una planicie litoral paralela al mar donde se sitúa La Vega de Motril.

#### **6.1.3 Proyecto 3: Autopista GC-1, tramo Puerto Rico – Mogán**

La Autopista GC-1 bordea la isla de Gran Canaria por su parte oriental y sur desde su capital Las Palmas hasta Puerto Rico. A partir de ese punto la carretera que bordea la costa es la GC-500 que tiene un deficiente trazado con numerosas curvas de radios reducidos y travesías semaforizadas con un importante tránsito de peatones. Este proyecto prolonga la autopista hasta la localidad de Mogán. La orografía es sumamente accidentada, por lo que será necesaria la ejecución de túneles y viaductos en la mayor parte del trazado.

La sección transversal dispone de dos carriles en cada una de las dos calzadas salvo en los tramos con enlaces en que se incorpora o desprende algún ramal. Con una longitud próxima a los



6,200 km se inicia en la embocadura oeste del túnel de la GC-1 que da acceso a Puerto Rico y termina en el enlace con la carretera GC-200 denominado enlace de Mogán.

#### **6.1.4 Proyecto 4: Interconexión Carretera CM-3201 con la Autovía A-31**

La nueva infraestructura estudiada se encuadra dentro del 2º Plan Regional de Carreteras de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y pertenece a la Red Comarcal de dicha Comunidad Autónoma. Servirá como conexión entre Villagarcía del Llano – Ledaña – Villamalea, completado por el itinerario ya existente Quintanar del Rey - Villagarcía del Llano (CUV-8111), y prolongándolo hasta llegar a la Autovía A – 31 a la altura de Pozoamargo.

La longitud total de este tramo es de 29,238 km, con inicio en el enlace de conexión con la autovía A-31 en Pozoamargo y final en el enlace con la N-320, en Quintanar del Rey.

La orografía es muy llana en casi toda la traza del proyecto a excepción del tramo entre los punto kilométrico 8,600 a 11,100 donde la carretera pasará por encima del Canal de Trasvase Tajo-Segura y del valle que forma el río Júcar. Se ha intentado compensar el movimiento de tierras, produciendo se un déficit de tierras, puesto que, teniendo en cuenta los condicionantes anteriormente mencionados la traza discurre en su mayor parte en terraplén.

#### **6.1.5 Características técnicas principales de los proyectos**

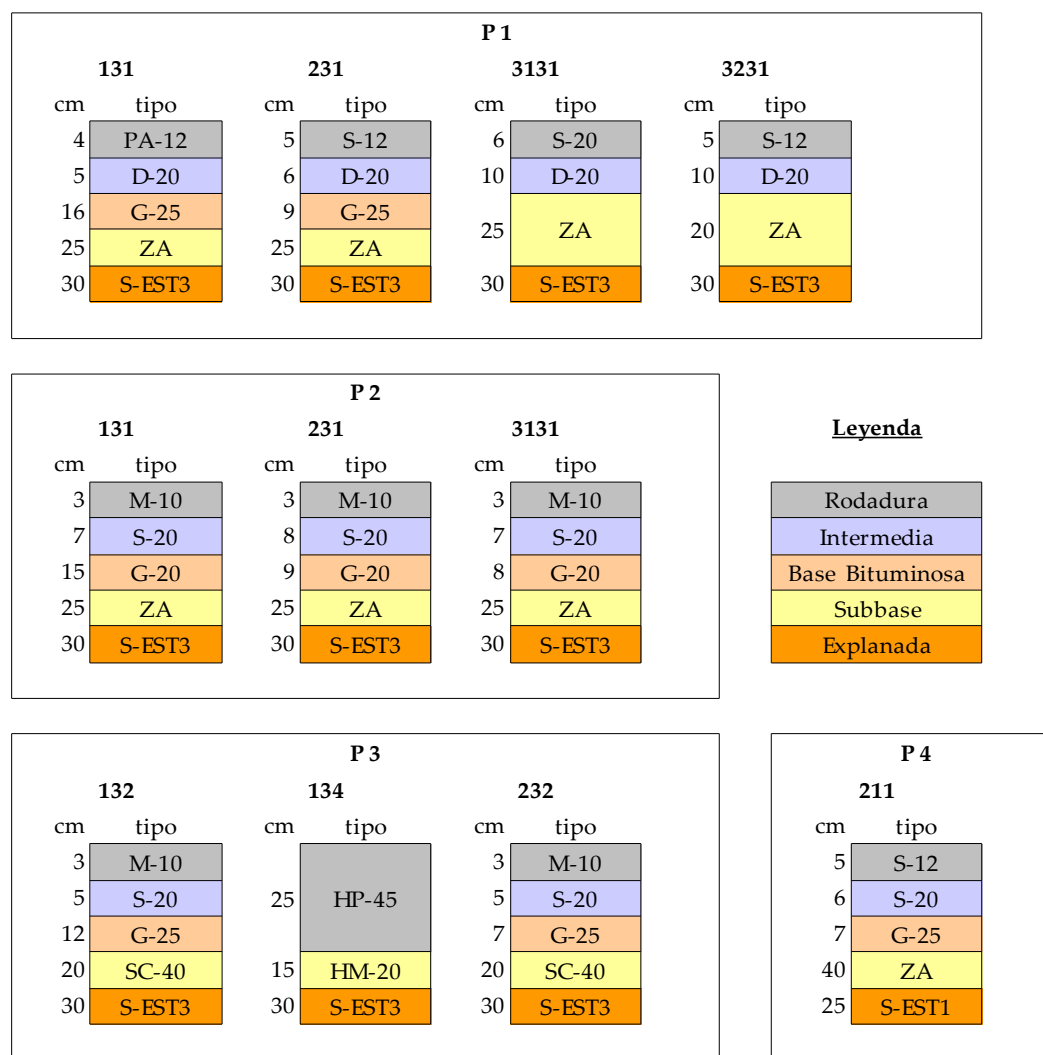
En la tabla 6.1 se resumen las principales características técnicas de los proyectos mencionados en el apartado anterior. Además, para extender la información sobre los firmes, se adjunta también la figura 6.1, donde se detalla la estructura y composición según la nomenclatura oficial de los firmes utilizados (Ministerio de Fomento, 2003).

Los registros de la base de datos utilizados en los cuatro proyectos, correspondientes a maquinaria, materiales, fuentes de energía y gases contaminantes, se muestran con mayor detalle en el Anexo I. Por otro lado, la estructura y mediciones a máximo desglose de los cuatro proyectos se detallan en el Anexo II.

**Tabla 6.1** Características técnicas de los proyectos analizados. *Elaboración propia.*

	<b>P. 1</b>	<b>P. 2</b>	<b>P. 3</b>	<b>P. 4</b>
<b>Nombre (localización)</b>	Autovía IV Centenario	Autovía del Mediterráneo	Autopista GC-1	Carretera conexión CM-3201 y A-31
<b>Categoría</b>	Autovía	Autovía	Autopista	Carretera Convencional
<b>Longitud trazado (km)</b>	30,36	9,698	6,2	29,238
<b>Velocidad de proyecto (km/h)</b>	120-100	100	120	90
<b>Tipo de tráfico</b>	T0/T1	T1/T2	T1	T2
<b>Nº Estructuras</b> (m lineales de calzada principal afectados)				
Viaductos	4 (405)	3 (630)	3 (500)	1 (437)
Pasos superiores	18 (156)	6 (63)	1 (10)	-
Pasos inferiores	6 (60)	8 (72)	6 (48)	4 (66)
Muros	-	5 (683)	-	-
Túneles	-	-	6 (4350)	-
<b>Nº carriles</b>	4	1º subtramo: 4 2º subtramo: 2	4	2
<b>Secciones de firme</b>				
Tronco de la carretera	131, 231	131, 231	132, 134 (Túnel) y 232	211
Enlaces y otros	3131, 3231	3131	-	-
<b>Presupuesto (PCA) (millones de €)</b>	95,986	95,556	164,084	36,374

Además se han estimado las operaciones de la etapa de mantenimiento (reparación y operación/conservación) de acuerdo con las constructoras tras una serie de reuniones llevadas a cabo durante el presente estudio. A partir de ellas se obtuvo información y datos genéricos de periodicidades de las labores de conservación que se prevén tendrán lugar en las carreteras en construcción (tabla 6.2). Actualmente, en los proyectos de construcción, no se detallan con precisión las actividades que tendrán lugar en la etapa de mantenimiento, por lo que los datos que manejamos son estimados. Nos ha resultado imposible conseguir nada mejor porque se trata de datos sensibles que las concesionarias no revelan. Por tanto, se fija un esquema de mantenimiento básico, con las operaciones esenciales y cuantificables, que se aplica a todos los proyectos. La única intención es dar una primera aproximación a la magnitud en mantenimiento y una imagen contextualizada de nuestros resultados de la etapa de construcción.



**Figura 6.1** Perfiles de las diferentes tipologías de firmes y explanadas utilizados en los proyectos, con el tipo de material usado y el espesor de cada capa. Las características técnicas de cada tipo de capa, así como su abreviatura, vienen definidas en la norma 6.1 IC (Ministerio de Fomento, 2003). *Elaboración propia.*

Además de operaciones básicas de mantenimiento, se ha tenido en cuenta la iluminación de las carreteras, así como la absorción de CO<sub>2</sub> de los sistemas naturales restaurados y la recarbonatación de los materiales ubicados en la carretera en su vida útil como el hormigón (que puede llegar a absorber 3.800 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> de hormigón en un periodo de 100 años según Oficemen et al., 2009). El periodo considerado en la etapa de mantenimiento ha sido de 50 años.

**Tabla 6.2** Operaciones de mantenimiento (operación y reparación) consideradas para los proyectos de carretera. *Elaboración propia.*

Operaciones	Periodicidades
Limpieza de carretera	Mensual
Tala y limpieza de arbustos / arbolado	Semestral
Consumo de luminarias / Mantenimiento	Periodo de mantenimiento
Reposición de firmes programados	Cada 9 años
Repintado de marcas viales	Anual

## 6.2 Resultados

A continuación se muestran los distintos resultados obtenidos detallando en principio las emisiones totales, y también con distintos niveles de desglose. Conocer qué elementos contribuyen de una manera más notable a las emisiones de GEI en el total del proyecto de construcción puede mostrar qué aspectos son más importantes a la hora de estimar la huella de carbono de un proyecto. Por este motivo, no interesa sólo el total, sino que buscamos un desglose sobre las diferentes causas, para determinar importancias relativas, y posibilitar un seguimiento y gestión futuros. Esta idea ya estaba incluida en el diseño de la herramienta CO<sub>2</sub>NSTRUCT.

### 6.2.1 Emisiones GEI totales

Con los datos aportados en los cuatro proyectos según actividades, secciones transversales y composición del firme, sistemas naturales afectados y restaurados en el trazado, los materiales empleados, y la maquinaria usada, se han estimado las emisiones debidas a la construcción de las distintas infraestructuras.

En la siguiente tabla 6.3 se muestran las emisiones totales de los proyectos, las emisiones por km lineal. La segunda permite una mayor comparabilidad con otros resultados y proyectos al ser la unidad funcional empleada por la mayoría de estudios. Se ha realizado además la comparación relativizando por los costes de proyecto, por millón de euros invertido, como métrica alternativa. Este dato podría servir para evaluar emisiones a nivel nacional, puesto que es mucho más

complicado obtener los datos de km construidos por año que los millones de euros invertidos. Los resultados totales a máximo nivel de desglose se muestran en el Anexo II.

**Tabla 6.3** Emisiones totales, desglosadas por etapas y gases, y emisiones por km y millón de euros invertido (M€) de los proyectos analizados. Todos los valores están en kg CO<sub>2</sub>e. *Elaboración propia.*

Proyecto	Emisiones etapa construcción		Emisiones etapa mantenimiento		Emisiones totales	Emisiones totales por km	Emisiones totales por M€
	CO <sub>2</sub>	Resto GEIs	CO <sub>2</sub>	Resto GEIs			
1	3,62E+08	2,80E+07	7,01E+07	1,40E+06	4,62E+08	1,52E+07	4,81E+06
2	4,12E+08	3,81E+07	3,75E+07	7,60E+05	4,88E+08	5,03E+07	4,71E+06
3	2,20E+08	1,40E+07	1,89E+07	2,19E+05	2,54E+08	4,08E+07	1,43E+06
4	1,54E+08	1,22E+07	9,08E+07	6,49E+05	2,59E+08	8,87E+06	4,62E+06

Se constata que la contribución de otros gases distintos al CO<sub>2</sub> al agregado de emisiones supone entre un 6 - 8,5% de las emisiones en construcción y un 0,6 – 2% en mantenimiento.

Los proyectos 1 y 2 tienen unas emisiones totales superiores al resto, si bien al relativizar los resultados por la longitud del proyecto se observa que los proyectos 2 y 3 son mucho más intensivos en emisiones que los otros dos. Se puede apreciar como en los tres primeros proyectos (autopistas y autovías) la etapa de mantenimiento supone apenas entre 7,2 – 12,25% de las emisiones totales. Únicamente en el proyecto 4 (carretera convencional) se aprecia que el mantenimiento adquiere mayor importancia (35% del total).

Al relativizar las emisiones de los proyectos por el presupuesto económico de los mismos se observa que en tres de los 4 proyectos (1, 2 y 4) se obtiene una cifra bastante cercana, entorno a las 4700 toneladas de CO<sub>2</sub> por millón de euros. No obstante, en el proyecto 3 las emisiones por millón de euros invertido son tres veces menores, debido en parte a que es un proyecto relativamente más costoso que el resto, por su complejidad técnica.

### 6.2.2 Comparativa entre las etapas analizadas y las emisiones debidas al tráfico

La evaluación de las emisiones producidas por el tráfico de vehículos no está dentro del alcance de este estudio (ver figura 1.6 pág. 34). Sin embargo se dispone de datos de un estudio realizado dentro del proyecto CLEAM-CENIT, para el proyecto 1, Autovía IV Centenario (Barandica 2010), por lo que a continuación se van a exponer estos resultados comparándolos con los del ACV de la infraestructura, desglosado en las etapas de construcción y mantenimiento (tabla 6.4). Hay que reseñar que el modelo de tráfico está diseñado para un tiempo de 20 años, que no se corresponde con el alcance temporal del ciclo de vida de la carretera, por lo que los resultados de mantenimiento que se exponen, por coherencia, sólo cubren esos primeros 20 años de la carretera. Realizar un modelo de tráfico para un horizonte temporal más lejano supondría asumir demasiada incertidumbre, dado que no es posible prever con un mínimo de precisión la evolución del parque móvil, la aparición de nuevas tecnologías o el número de usuarios para horizontes temporales tan lejanos (Barandica 2010).

**Tabla 6.4** Emisiones de GEI para el transporte por carretera en el proyecto IV Centenario durante los primeros 20 años. *Elaboración propia y Barandica (2010).*

	Construcción	Mantenimiento	Tráfico
kg CO <sub>2</sub>	3,62E+08	1,57E+07	8,27E+08
kg CH <sub>4</sub>	3,18E+04	1,31E+03	2,17E+03
kg N <sub>2</sub> O	9,05E+04	1,72E+03	2,20E+04
kg CF <sub>4</sub>	7,34E-01	0,00E+00	0,00E+00
kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	4,17E-02	0,00E+00	0,00E+00
<b>kg CO<sub>2</sub>e</b>	<b>3,90E+08</b>	<b>1,62E+07</b>	<b>8,33E+08</b>
<b>% Sobre el total</b>	<b>31,47%</b>	<b>1,31%</b>	<b>67,22%</b>

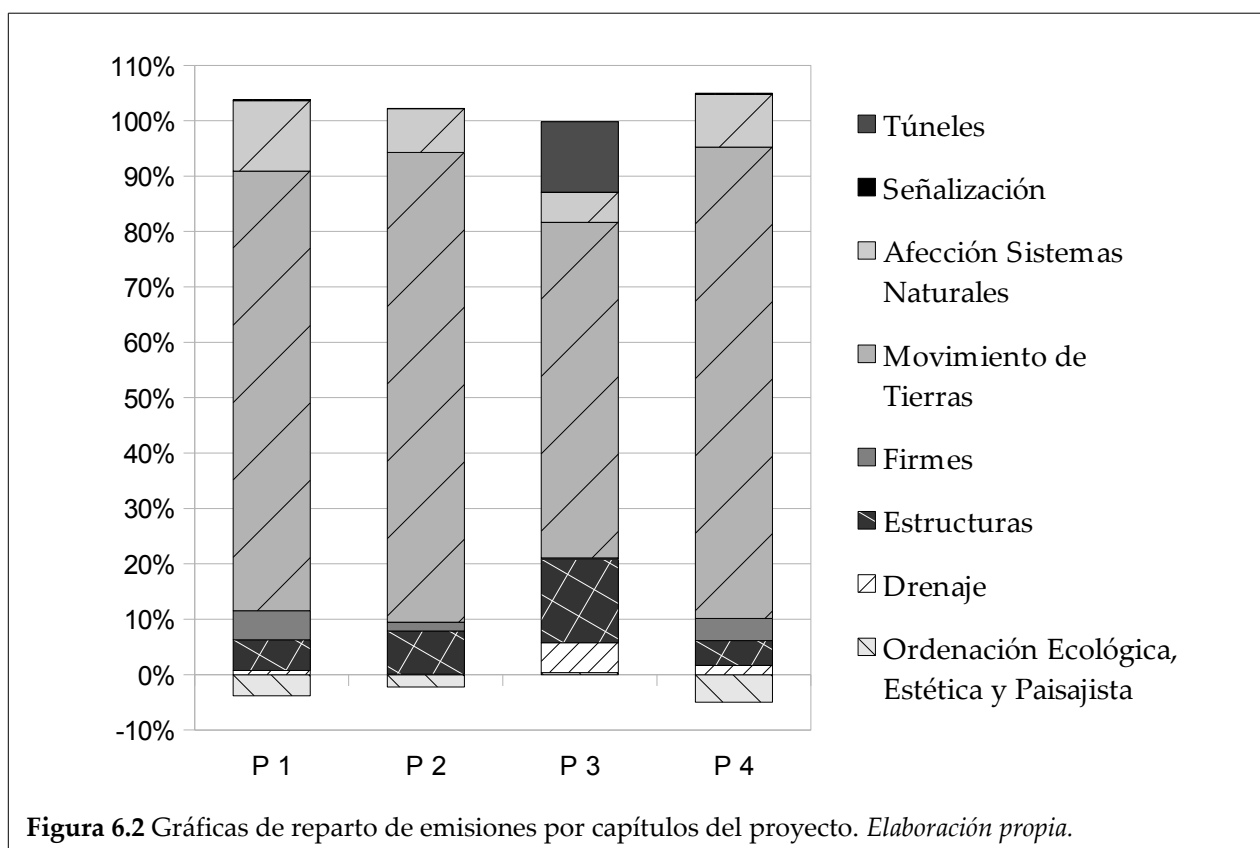
Como se puede apreciar en la tabla, las emisiones debidas al tráfico según este modelo superan al resto de emisiones del ciclo de vida del transporte por carretera, convirtiéndose en un 67% del total en estos primeros 20 años. Este dato, a pesar de que la dificultad para anticipar la

evolución de las emisiones de tráfico es alta, nos da una idea de la importancia de los usuarios en las emisiones ligadas al transporte por carretera.

A continuación se analiza con mayor profundidad la etapa de construcción según las áreas de mayor contribución a las emisiones de GEI, los elementos más importantes y los sectores relacionados. No se ha desglosado la etapa de mantenimiento debido a que se carece de información consolidada de las actividades de conservación, y que supone un porcentaje minoritario de las emisiones totales.

### **6.2.3 Áreas más influyentes según su contribución a las emisiones GEI en Construcción**

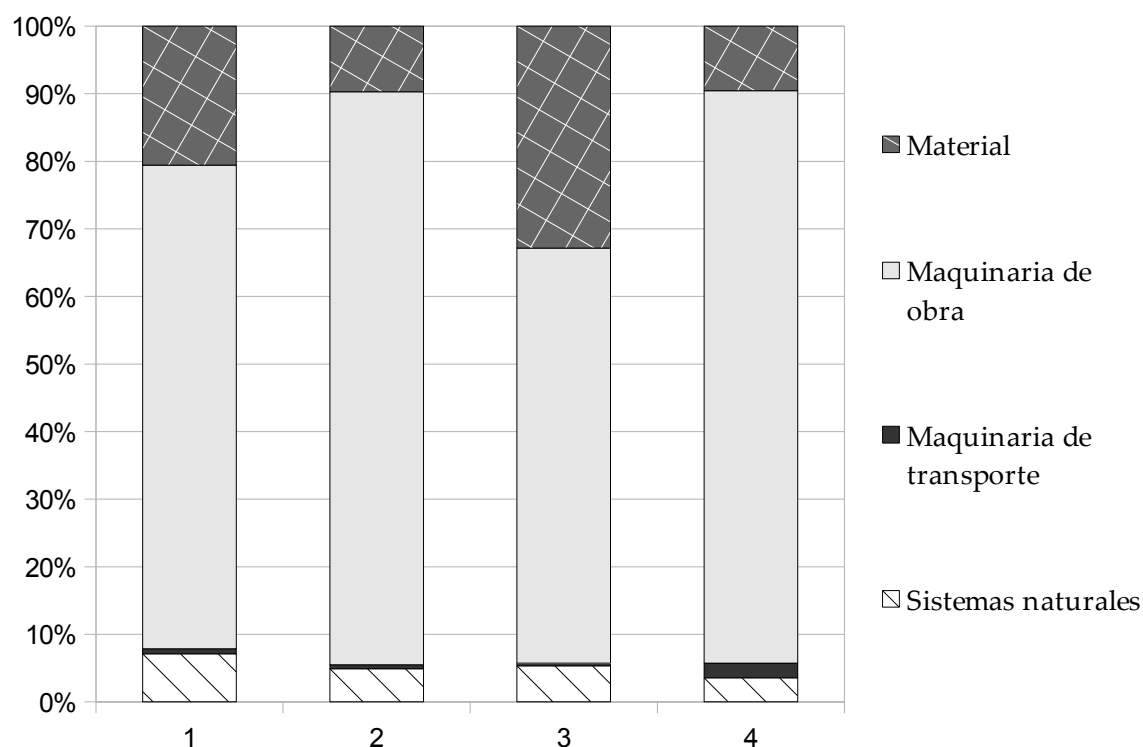
Puesto que la mayor parte de las emisiones GEI tienen lugar en la etapa de construcción, se considera conveniente analizar con mayor profundidad los resultados para cada capítulo de obra de los cuatro proyectos (figura 6.2). Así, se obtiene que el capítulo de Movimiento de Tierras resulta el de mayor importancia con más de un 60 - 80% de las emisiones en construcción ( $1,42\text{E}+05$  –  $3,82\text{E}+05$  tCO<sub>2</sub>e). Este capítulo incluye la extracción, suministro y transporte interno de tierras, con el correspondiente consumo de combustibles de las maquinarias, así como la afección a los sistemas naturales (oxidación del carbono fijado). No obstante, con el objetivo de mostrar la importancia de la afección a los sistemas naturales dentro del capítulo de movimiento de tierras, se ha separado en las gráficas los valores de éstos manteniendo la misma trama para los dos. En un segundo orden de importancia se destaca el capítulo de Estructuras (4,5 – 15,1%), Firmes (1,6 - 5,3%) y particularmente, Túneles (12,7%) en el proyecto 3. La Ordenación Ecológica registra las captaciones de CO<sub>2</sub> (valores de emisión negativos) y aunque no aparece con una magnitud importante de emisiones, sí que tiene importancia al ser el único capítulo que fija o captura emisiones de CO<sub>2</sub>.



#### 6.2.4 Elementos más influyentes en las emisiones GEI en Construcción

Se muestran en la figura 6.3 los resultados obtenidos por elementos o actores contaminantes, donde la maquinaria de obra es el principal elemento (61,5 – 84,9%) seguido de aquellas emisiones relacionadas con el consumo de materiales (9,5 – 32,9%). Las emisiones relacionadas con el manejo de los sistemas naturales constituyen un porcentaje apreciable (3,5 - 7,1%), si se considera además que el resultado mostrado es el valor final del balance entre las emisiones debidas a la eliminación de los sistemas existentes previamente (oxidación de suelo y biomasa) y el carbono contenido en los plantones y suelo vegetal usados en la restauración. El transporte resulta de escasa relevancia en relación con el resto de elementos (0,4 – 2,2% del total de la fase de construcción).

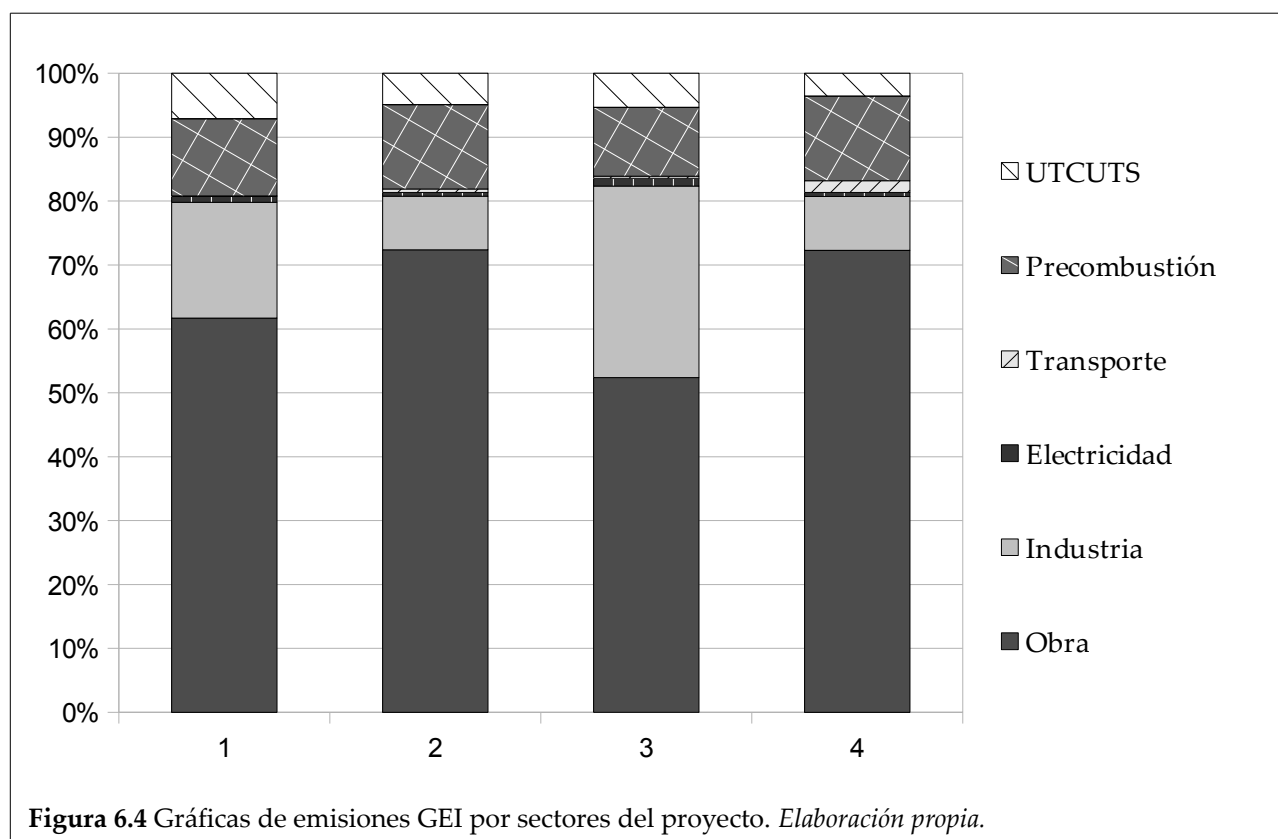




**Figura 6.3** Gráficas de emisiones GEI por elementos del proyecto. *Elaboración propia.*

### 6.2.5 Emisiones de GEI en Construcción según la contribución de los distintos sectores involucrados

A continuación se muestran las emisiones clasificadas según sectores con el objetivo de mostrar los diferentes orígenes de las mismas (figura 6.4). Se ha añadido una tabla con máximo desglose dentro de estos sectores para mayor profundidad (tabla 6.5). Se ha hecho la asignación de emisiones considerando la clasificación de sectores expuesta en el apartado 4.3.2. El sector Obra resulta el más importante, como es lógico al ser el objeto de este estudio proyectos de construcción de infraestructuras, e incluye las emisiones de combustión de la maquinaria de obra así como la producción de los materiales fabricados en obra. La industria, que engloba la producción y preproducción de los materiales empleados, representa un sector secundario pero importante, sobre todo en los proyectos 1 y 3. La precombustión supone también una contribución significativa, y más constante entre proyectos. En último lugar se encuentran las emisiones relativas a la combustión de las fuentes energéticas destinadas a la generación de electricidad y las debidas a UTCUTS.



Sobre los resultados desglosados (tabla 6.5) destacar que en ninguno de los cuatro proyectos se producen consumos ni emisiones de electricidad en la obra en la fase de construcción, dado que se ha supuesto que toda la electricidad usada por la maquinaria en esta fase proviene de generadores alimentados por diésel. Tampoco aparecen valores en el apartado de materiales ubicados, dado que las captaciones producidas por éstos se contabilizan en la etapa de mantenimiento; ni en emisiones de proceso en Obra, ya que no se dan en ninguno de los materiales producidos en la misma.

**Tabla 6.5** Emisiones de GEI de la etapa de construcción por sectores, con el mayor desglose posible dentro de los mismos. Todas las cifras en kgCO<sub>2</sub>e. *Elaboración propia.*

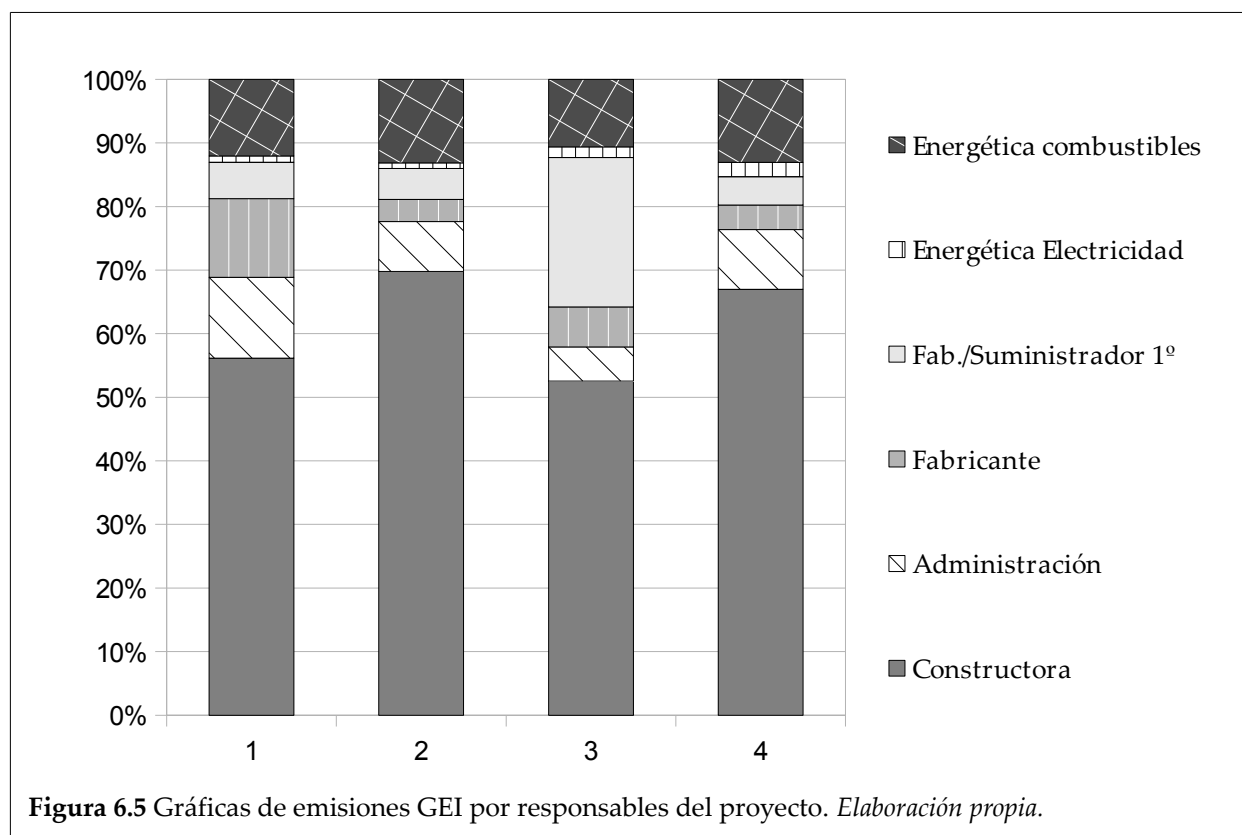
				1	2	3	4
Obra	Maquinaria Obra			2,38E+08	3,26E+08	1,23E+08	1,21E+08
	Materiales Obra	Producción	De proceso	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
			Combustión	1,15E+04	2,98E+04	3,42E+04	3,97E+03
		M. Ubicados			0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Industria	Materiales Industria	Producción	Ind. Energía	1,87E+07	1,07E+06	3,81E+05	4,59E+05
			Combustión	2,96E+07	1,45E+07	1,44E+07	6,08E+06
		Preproducción			2,22E+07	2,21E+07	5,55E+07
Electricidad		Electricidad Obra		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
		Electricidad Industria		3,85E+06	2,71E+06	2,80E+06	1,02E+06
Precombustión				4,71E+07	5,95E+07	2,52E+07	2,22E+07
Transporte				2,42E+04	2,30E+06	8,14E+05	3,06E+06
UTCUTS				2,77E+07	2,20E+07	1,25E+07	5,96E+06

### 6.2.6 Emisiones de GEI en construcción según responsables

Por último se detalla el desglose para los cuatro proyecto de las emisiones según el marco de asignación de responsabilidades propuesto en el capítulo 4 (véase la figura 4.3). En la figura 6.5, se puede observar que el principal responsable, como parecía lógico tras los resultados anteriores, es la constructora (51,3 – 70%), seguida en la mayor parte de casos por la industria energética de combustibles, responsable de la precombustión de todos los combustibles (10,5 – 13,2%). La industria manufacturera, representada aquí por los responsables Fabricante y Fabricante / Suministrador 1º, tiene una aportación más irregular, variando entre 3,5 y 23,6% del total de los proyectos. Es también destacable el papel de la administración, que en proyectos con gran afección a Sistemas naturales como el P1, puede llegar a ser responsable del 12,7% del total de las emisiones. Por último, las eléctricas tendrían una asignación de emisiones meramente testimonial.

Existen una serie de emisiones que han sido provocadas por actividades de la etapa de construcción pero que no se contabilizan en esta etapa sino en la de mantenimiento para guardar coherencia temporal. Estas son las captaciones de los nuevos sistemas naturales (que serían

atribuibles a la administración), las de materiales ubicados y las producidas (en este caso captadas) por el gestor de los residuos de la etapa de construcción.



Como complemento a estos resultados se incluye la tabla 6.6 con la asignación de responsables según el criterio del GHG Protocol para la empresa constructora (WBCSD & WRI, 2004; WRI & WBCSD, 2011b). En ella se observa que esta empresa no tiene emisiones en el nivel 2, debido a que se ha supuesto que en la fase de obra la maquinaria eléctrica no se engancha a la red, produciendo esa electricidad mediante combustibles y por tanto, quedándose esas emisiones en el nivel 1.

**Tabla 6.6** Asignación según niveles del GHG Protocol para la empresa constructora durante la etapa de construcción. *Basado en WBCSD & WRI (2004) y WRI & WBCSD (2011b).*

Niveles de asignación	1	2	3	4
Nivel 1	2,19E+08	3,15E+08	1,24E+08	1,14E+08
Nivel 2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Nivel 3	1,71E+08	1,35E+08	1,11E+08	5,31E+07

## 7 Escenarios

### 7.1 Introducción

El objetivo de este capítulo es identificar el rango de mejora que pueden tener los distintos elementos del proyecto en su contribución a las emisiones de GEI en los proyectos de carreteras, y por tanto señalar posibles futuras líneas de investigación. Esta labor se puede llevar a cabo gracias a la herramienta CO<sub>2</sub>NSTRUCT, que permite contextualizar los efectos de los distintos escenarios de forma sencilla, relativizando su importancia.

Estos escenarios suponen un primer paso en el planteamiento del problema de las emisiones de GEI en los proyectos de infraestructuras lineales y en las posibles líneas estratégicas a tener en cuenta para actuar reduciendo emisiones allí donde más impacto potencial se puede tener y medir la capacidad de reducción o aumento de las emisiones según las decisiones tomadas en las etapas del proyecto: construcción y mantenimiento.

Gran parte de los estudios de ACV sobre carreteras contemplan algún tipo de escenario en su análisis. La mayor parte de ellos se centran en la sustitución de materiales, especialmente del firme, como comparaciones entre el uso de hormigón frente a mezclas bituminosas (Athena Institute, 2006; Chan, 2007; Milachowski et al., 2010; Stripple, 2001; White et al., 2010) o el uso de materiales reciclados (Birgisdottir et al., 2006). Esta proliferación de escenarios de firmes se debe en parte a la guerra soterrada que existe entre la industria cementera y la de los productos asfálticos, por demostrar que su opción es ambientalmente mejor que la de la competencia (Santero et al., 2011a). Recientemente algunos autores, como Loijos (2011) han propuesto análisis más novedosos, incluyendo otras alternativas para la fase de mantenimiento, o escenarios que simulan incrementos del albedo de la calzada mediante el uso de arenas blancas. Sin embargo no hemos encontrado en la bibliografía escenarios sobre la maquinaria, que según nuestros resultados es causante de una gran parte de las emisiones totales. Excepto Loijos (2011), nadie ha comprobado más de una hipótesis alternativa, ni la interacción posible entre varias (escenarios conjuntos). Por tanto, consideramos interesante ampliar el abanico de escenarios alternativos, intentando completar y contrastar en lo posible los resultados publicados por otros autores.

Volviendo a nuestro planteamiento de los escenarios, hay que tener en cuenta varios aspectos. Todo proyecto de construcción está precedido de su estudio informativo correspondiente. En este estudio se plantean alternativas de trazado en relación al posible impacto sobre el entorno. Es en el propio proyecto constructivo donde se definen las alternativas técnicas a considerar para las distintas secciones de firmes (Ministerio de Fomento, 2003), los procedimientos constructivos y donde el fin último es definir con detalle la etapa de construcción del proyecto por actividades y unidades de obra. Aquí es donde se define las unidades de obra tipo, con los requisitos técnicos para las mismas. Ya en la etapa de construcción, es la empresa constructora la que selecciona la maquinaria óptima a utilizar para cada actividad, los materiales y suministradores concretos con un amplio margen de maniobra atendiendo siempre a las especificaciones del proyecto constructivo.

Ligando este marco de toma de decisiones a los resultados obtenidos en el capítulo anterior de Resultados donde la maquinaria y los materiales aparecían como los elementos más importantes (junto a los elementos naturales), se busca en el presente capítulo analizar distintos escenarios contruidos sobre un mismo proyecto base. Se busca variar en lo técnicamente posible las características de la maquinaria, distancias de transporte y fabricación de los materiales para analizar las posibilidades de reducción de emisiones totales de un proyecto ya redactado. En algunos casos los escenarios se van a centrar en el contexto empresarial (posibilidades de contratación de mix eléctrico estándar o mix 100% renovable; suministro de materiales locales, nacionales o internacionales) y otros en los avances normativos y técnicos (mejora de las tecnologías de las maquinarias; problemas asociados a la antigüedad de la maquinaria; posibilidad de uso de biocombustibles y de utilización de distintos firmes de acuerdo a la normativa técnica). Para completar, con todas estas opciones se plantea la realización de un análisis del proyecto base comparado con el mejor y el peor caso teórico posible atendiendo a las distintas propuestas estudiadas. Como proyecto base se va a utilizar el proyecto de Autovía IV Centenario denominado proyecto 1 en el capítulo de Resultados.

El planteamiento de los escenarios aquí analizados ha sido fundamentalmente teórico pero siempre basado en el proyecto real tipo escogido con el fin de partir de datos fiables, desarrollándolo y aplicando escenarios posibles.

## **7.2 Escenarios relacionados con la Maquinaria**

Dado que es el elemento principal como contribuyente a las emisiones de GEI, se plantea comenzar variando aspectos importantes de la maquinaria como son: la antigüedad de las máquinas, el uso de biocombustibles y el empleo de maquinarias con la Mejor Tecnología Disponible (MTD) de acuerdo a la normativa europea.

Existen estudios que han medido emisiones de maquinaria sobre el terreno (Abolhasani et al., 2008; Frey et al., 2008; Pang, 2007), que nos pueden servir para contrastar nuestros resultados teóricos.

### **7.2.1 Caso base frente a maquinarias de 5 años de antigüedad**

Se trata de un escenario comparativo entre el implementado en el proyecto base, con un parque de maquinarias nuevo, y un proyecto con un parque de maquinarias de cinco años de antigüedad. Según el personal de la constructora coordinadora de nuestra tarea en el proyecto base (ISOLUX-CORSAN), las maquinarias empleadas en obra se utilizan hasta un máximo de 10.000 horas por máquina. Esto puede suponer una antigüedad media de unos 5 años o más.

Con este escenario se trata de medir la influencia en las emisiones de GEI de la antigüedad de maquinaria de obra y los vehículos de transporte que intervienen. Teniendo en cuenta la metodología para el cálculo de emisiones de maquinaria según especificaciones en Europa de EMEP-Tier 3, la variable años de antigüedad hace que se incremente el consumo y las emisiones que tienen lugar por el uso de los vehículos y de la maquinaria. Según esta metodología, un solo año de antigüedad de una maquinaria produce un aumento en el factor de emisión de CO<sub>2</sub> del 1%, y un aumento del 1,5% en las emisiones de CH<sub>4</sub> en las máquinas diésel (un 1,4% si el combustible es gasolina), mientras que no se producen emisiones mayores de N<sub>2</sub>O (0% de incremento).

Se debe destacar también que se han analizado los resultados totales según la etapa construcción y la etapa mantenimiento (con la salvedad, comentada en capítulos anteriores, de que en esta última etapa está configurada de modo estimativo). Se deben considerar, por tanto, los valores aportados de mantenimiento como valores aproximados de las unidades de obra consideradas, pero no como los de un proyecto realizado.

Los resultados obtenidos entre estos dos escenarios se muestran en la tabla 7.1, indicando en la primera columna las emisiones en el caso base (parque nuevo de maquinaria de transporte y obra), en la segunda ante el escenario propuesto (maquinaria con cinco años de antigüedad), y por último el porcentaje de variación de emisiones del segundo escenario frente al primero. También se han desglosado parcialmente los datos, analizando los aspectos (actores contaminantes, capítulos...) de mayor interés para el escenario. Este esquema de tabla se va a repetir en todos los escenarios propuestos.

**Tabla 7.1** Resultados de emisiones de GEI del Escenario de Antigüedad de Máquinas en kg CO<sub>2</sub>e.  
*Elaboración propia.*

	<b>Caso Base Maquinaria Nueva</b>	<b>Escenario maquinaria Cinco Años</b>	<b>Variación respecto al caso base</b>
<b>Etapas Construcción</b>	<b>3,90E+08</b>	<b>4,02E+08</b>	<b>3,08%</b>
Emisiones de Maquinaria de obra	2,79E+08	2,91E+08	4,30%
Emisiones de Maquinaria de Transporte	2,89E+06	3,04E+06	5,19%
Emisiones relacionadas con el Sector Obra	2,68E+08	2,79E+08	4,10%
<b>Etapas Mantenimiento</b>	<b>7,15E+07</b>	<b>7,22E+07</b>	<b>0,97%</b>
Emisiones de Maquinaria de obra	9,87E+07	9,93E+07	0,06%
Emisiones de Maquinaria de Transporte	7,90E+04	8,29E+04	4,93%
Emisiones relacionadas con el Sector Obra	-2,58E+07	-2,53+07	1,93%



Como se observa, el aumento de emisiones al realizar la construcción de la carretera con maquinaria de cinco años de antigüedad es de un 3,08% sobre el caso de maquinaria nueva, lo que suponen unas emisiones de 12 000 toneladas de CO<sub>2</sub>e. Además se produce un aumento del 4,84% en las emisiones relativas al transporte, con un total de 140 toneladas de CO<sub>2</sub>e más que en el caso de vehículos nuevos. En la maquinaria de obra se aumenta un porcentaje similar (4,30%) pero de mayor importancia en términos absolutos, dada la mayor magnitud de las emisiones de esta maquinaria sobre el total del proyecto.

Al tratarse de dos elementos con gran importancia sobre las emisiones totales de GEI de la etapa de construcción, una reducción de las emisiones de estos dos elementos provoca una disminución de similar magnitud sobre las emisiones de esta etapa. En la etapa de mantenimiento, las diferencias no son tan significativas (apenas un 0,97%, motivado sobre todo por la maquinaria de transporte, con un 4,93%).

### 7.2.2 Caso base frente a maquinaria y luminarias con las mejores tecnologías

Este segundo escenario comparativo se basa en la modificación del proyecto base con la tecnología que tiene cada maquinaria según las especificaciones y los elementos del proyecto, y valorar la posible aplicación de las Mejores Tecnologías Disponibles (MTD).

Así, a raíz de las directivas europeas de reducción de emisiones y mejoras en la tecnología de las maquinarias se pueden distinguir:

- Las maquinarias de obra, según la metodología EMEP-Tier3 (máximo nivel de detalle) de 2009, contempla las tecnologías desde Stage I o anterior denominado “no regulado”, hasta la tecnología Stage IIIA, MTD que se aplicará en el escenario. En el caso base coexiste maquinaria desde Stage I a Stage IIIa, predominando las más modernas.

- Los vehículos del transporte que pueden disponer de una tecnología según la metodología COPERT-Tier 3 (nivel máximo de detalle) de 2009, desde Euro I o anterior denominado “convencional” hasta Euro VI, tecnología que se va a aplicar en el escenario. En el caso base la maquinaria de transporte se considera Euro IV.

Además se van a modificar las luminarias en fase de mantenimiento (operación), donde se considerará el uso de la tecnología LED en estas luminarias como caso mejor frente a las luminarias de vapor de sodio presentes en el caso base. Las luminarias, en la etapa de mantenimiento, son consideradas por nuestra herramienta como maquinaria de obra, por razones de estructura de los datos.

A modo de ejemplo, siguiendo la metodología COPERT, un vehículo de transporte diésel rígido de 10 toneladas, transporte interurbano y tecnología Euro I tiene un factor de consumo aproximado de 0,200 l/km; mientras que este mismo vehículo (diésel, rígido de 10 toneladas y transporte interurbano), con tecnología Euro VI, tendría un factor de consumo de 0,189 l/km, es decir, un 5,5 % menos de consumo comparando ambas tecnologías en el mismo tipo de vehículo. Esta reducción de consumo implica lógicamente una reducción directa en las emisiones de GEI.

No obstante, en la metodología EMEP apenas se aprecian diferencias entre tecnologías en las emisiones de GEI, puesto que estas tecnologías más novedosas tienen el principal objetivo de reducir las emisiones de NO<sub>x</sub>, CO ó PM<sub>2,5</sub> pero no tanto los gases efecto invernadero.

En USA se han tomado medidas para maquinaria de obra comparando sus niveles de tecnología (Frey et al., 2008), por lo que puede ser una referencia para validar nuestros datos. Los resultados obtenidos en el planteamiento de este escenario variando únicamente la tecnología de la maquinaria, aparecen reflejados en la tabla 7.2.

**Tabla 7.2** Resultados de emisiones de GEI del Escenario 2 Mejores Tecnologías Disponibles frente al caso base en kg CO<sub>2</sub>e. *Elaboración propia.*

	Caso Base Tecnologías Actuales	Escenario Mejores Tecnologías Disponibles (MTD)	Variación respecto al Caso Base
<b>Etapa Construcción</b>	<b>3,90E+08</b>	<b>3,90E+08</b>	<b>0,02%</b>
Emisiones de Maquinaria de transporte	2,89E+06	2,96E+06	2,42%
Emisiones de Maquinaria de obra	2,79E+08	2,79E+08	0%
<b>Etapa Mantenimiento</b>	<b>7,15E+07</b>	<b>1,44E+07</b>	<b>-79,86%</b>
Emisiones de Maquinaria de transporte	7,90E+04	8,07E+04	2,15%
Emisiones de Maquinaria de obra	9,87E+07	4,16E+07	- 57,85%
Capítulo Iluminación	8,50E+07	2,79E+07	- 67,20%

Resulta notable al analizar los valores anteriores que el cambio por una tecnología más reciente en los vehículos de transporte y maquinaria de obra no reduce las emisiones de GEI, incluso aumentan mínimamente. Esto es debido a que, como se apuntaba anteriormente, en la maquinaria de obra (siguiendo EMEP) una mejora en las tecnologías (se han cambiado todas las tecnologías de la maquinaria de obra a Stage IIIA) no produce una reducción en las emisiones de GEI sino que esta tecnología reduce otras emisiones de gases como el CO, NO<sub>x</sub> o PM.

En el caso de los vehículos de transporte (según COPERT), sí es cierto que en un principio (tecnologías Euro I a Euro III) una mejora en la tecnología de la maquinaria de transporte produce una reducción de emisiones de GEI. Sin embargo, en el proyecto base se tienen tecnologías Euro IV que han sido modificadas por la tecnología Euro VI, donde el objetivo de las últimas tecnologías (Euro V y Euro VI) es la reducción de otros gases como el monóxido de carbono. Este hecho provoca que con estas nuevas tecnologías no disminuyan sus emisiones de gases efecto invernadero con respecto a los vehículos que usan la Euro IV.

Por último, al cambiar la tecnología de las luminarias de vapor de sodio por tecnología LED se reduce sólo en el capítulo de iluminación de la etapa de mantenimiento un 79,86%, 57100 toneladas de CO<sub>2</sub>e menos en el ciclo de vida de las infraestructuras por consumo eléctrico de las luminarias. Nótese que las luminarias son consideradas en mantenimiento como maquinaria de obra, razón por la que en mantenimiento aparece esa reducción tan sustancial en este apartado.

### 7.2.3 Caso base frente a maquinarias usando biodiésel B20

Se trata de un escenario comparativo entre el caso de uso de combustibles fósiles (como el diésel o la gasolina) en la maquinaria tanto de obra como de transporte, y el uso de biocombustibles (como el biodiésel o el bioetanol), considerando su poder calorífico y las opciones realmente plausibles de cambio de combustible de acuerdo a la legislación y las exigencias técnicas de los vehículos. Actualmente, la legislación obliga a que, a partir del 7 % en volumen de biodiésel, se debe indicar el porcentaje, poniendo la limitación a los vehículos y la propia capacidad de sus motores (Ministerio de Industria Turismo y Comercio, 2010). En las aplicaciones más comunes, como ocurre últimamente en autobuses urbanos, se está usando principalmente el biodiésel B-10 (10% biodiésel) pero también se está comenzando a emplear el biodiésel B-20 (20% de biodiésel y 80% de diésel). Otros autores han explorado las emisiones *in situ* de la maquinaria de obra usando B-20 frente a diésel normal (Frey et al., 2008; Pang, 2007).

En el proyecto base todas las máquinas que usan combustibles fósiles emplean como fuente energética el diésel. Para realizar un escenario teórico basado en los datos de este proyecto, se han cambiado todos los combustibles diésel de las maquinarias por biodiésel B-20, con el aumento de consumo que esto conlleva (el biodiésel tiene un menor poder calorífico que el diésel) pero también con una reducción importante de emisiones en combustión (según los coeficientes de emisión de combustión de ambos combustibles en relación a su porcentaje) y unos valores más altos para el biodiésel en las emisiones de precombustión.

Este escenario tiene un interés especial puesto que, aunque el biodiesel o en general los biocombustibles resultan actualmente muy caros en la gestión de una obra (por la escasez de estaciones de servicio que sirvan biodiésel), se busca conocer el posible impacto que tendría

cambiar los combustibles fósiles por otros de origen biogénico y comprobar la potencialidad de esta medida que está promoviendo la Unión Europea.

Además, también se ha cambiado las fuentes de energía de la electricidad que usa la maquinaria. En el caso base, solo hay maquinaria eléctrica en la fase de mantenimiento, donde la iluminación mediante farolas o luminarias se ha cambiado el mix eléctrico nacional (2009) por un mix eléctrico con 100 % fuentes renovables.

De este modo, comparando estos dos escenarios teóricos de uso de combustibles frente al empleo de biocombustibles, junto con el cambio del mix eléctrico nacional a un mix 100% procedente de fuentes renovables en el caso de las luminarias, se han obtenido los resultados recogidos en la tabla 7.3.

**Tabla 7.3** Resultados de emisiones de GEI del Escenario 3- Fuentes de energía renovables combustibles/biocombustibles en kg CO<sub>2</sub>e. *Elaboración propia.*

	<b>Caso Base Combustibles diésel y mix nacional 2009</b>	<b>Escenario Biodiésel B20 y mix 100 % renovables</b>	<b>Variación respecto al caso Base</b>
<b>Etapa Construcción</b>	<b>3,90E+08</b>	<b>3,53E+08</b>	<b>- 9,48%</b>
Emisiones de Maquinaria de obra	2,79E+08	2,43E+08	- 12,9%
Emisiones de Maquinaria de Transporte	2,89E+06	2,49E+06	- 13,84%
<b>Etapa Mantenimiento</b>	<b>7,15E+07</b>	<b>-1,08E+07</b>	<b>- 115,10%</b>
Emisiones de Maquinaria de obra	9,87E+07	1,64E+07	- 83,38%
Emisiones de Maquinaria de Transporte	7,90E+04	6,81E+04	- 13,79%
Capítulo Iluminación	8,50E+07	4,41E+06	- 94,81%

A partir de estos resultados, se muestra que el cambio de diésel por biodiesel B-20 en todas las maquinarias (de transporte y de obra) supone en cada elemento analizado entre un 12 y un 14% en la etapa de construcción, unas emisiones en esta etapa de 37 200 toneladas de CO<sub>2</sub>e menos (reducción del 9,48%). En los vehículos de transporte se reducirían 200 toneladas de CO<sub>2</sub>e y en la maquinaria de obra se reducen 37 000 toneladas de CO<sub>2</sub>e, donde se comprueba la importancia de esta última frente a los vehículos de transporte. Se debe notar que el transporte base tomado en este caso está basado en las distancias existentes en el documento del proyecto de construcción donde todos los transportes están entre 5 y 30 kilómetros de distancia. En casos donde las distancias sean superiores, los transportes podrían suponer un mayor porcentaje relativo.

El mayor problema identificado por las constructoras para este escenario es el mayor precio de los biocombustibles frente a los combustibles fósiles tradicionales. Sin embargo, este sobre coste podría compensarse si se “entrara” en el mercado de Carbono por la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, pues actualmente en los mercados de negociación de derechos de emisión, la tonelada de CO<sub>2</sub> está a 4,96 € el EUA Spot (SENDECO2, 2012), lo que supone un claro beneficio a favor del uso del biodiesel con respecto al consumo de diésel. De hecho una reducción del 9,48% en las emisiones en construcción supondría un ahorro económico, en el caso en que las emisiones relativas a la industria de la construcción estuvieran consideradas en los mercados, de unos 184 500 € en el proyecto considerado. Sin embargo, hasta que las emisiones de carbono del sector de la construcción estén incluidas en estos mercados de derechos de emisión, estos ahorros deben considerarse únicamente como potenciales.

En cuanto a la etapa de mantenimiento, se aprecia que en el elemento maquinaria de obra donde están incluidas las luminarias a lo largo de la traza, se llega a reducir un 115,1% debido en su mayor parte al cambio del mix eléctrico nacional (2009) por un mix eléctrico de 100% renovables. En los vehículos, el porcentaje de reducción por uso del biodiesel es similar a la etapa de construcción.

Parece claro en la etapa de mantenimiento que el cambio en las luminarias de la electricidad empleada por electricidad 100% renovable resulta clave para la reducción de emisiones en esta etapa, suponiéndola reducción del 94,81% de las emisiones en el capítulo de Iluminación.

### **7.3 Escenarios relacionados con los Materiales**

Los materiales son un elemento que tiene muchas posibilidades a la hora de plantear escenarios. Tras la maquinaria, es el elemento que más contribuye a las emisiones de GEI, y al frente a ésta, existen bastantes más variaciones técnicamente viables, como cambios en el origen de los materiales, sustitución de unos materiales por otros que realicen la misma función, cambios en la forma de producir los materiales... Para explorar estas variantes se han planteado los escenarios que se exponen a continuación:

#### **7.3.1 Caso Base frente a materiales importados**

En este escenario se ha considerado la sustitución de ciertos materiales del proyecto como el cemento, el acero, las pinturas y el aluminio, por materiales importados de los principales países productores. Se han considerado todas las emisiones producidas durante el transporte y aquellas imputables a la fase de producción al país de origen, con el fin de averiguar el impacto del origen de los materiales en el total de emisiones del proyecto y plantear lo que supone para un proyecto la importación de materiales de construcción contabilizando sus emisiones incorporadas.

Para cuantificar las emisiones por el transporte internacional (avión, barco o grandes transportes) se han obtenido datos de la herramienta EcoTransIT (IFEU Heidelberg et al., 2010). Los materiales modificados en este escenario se enumeran en la tabla 7.4.

**Tabla 7.4** Transporte de materiales calculado mediante la herramienta EcoTransIT (IFEU et al., 2010).

Material	Origen	Destino	Medio de transporte	Distancia (en km)		MJ Diésel/kg material
				Por medio de transporte	Total	
<b>Cemento</b>	Wuhan, China		Camión (24-40t, EURO II)	1383	17 936	2,78
			Buque (BV Suez trade (80-200k dwt))	16 553		
<b>Acero</b>	Baoshan, China	Ciudad Real, España	Camión (24-40t, EURO II)	1906	13 498	3,01
			Buque (BV Suez trade (80-200k dwt))	11 541		
<b>Pinturas</b>	Valbonne, Francia		Camión (24-40t, EURO III)	1350	1350	1,51
<b>Aluminio</b>	Saint-Jean de Maurienne, Francia		Camión (24-40t, EURO III)	1441	1441	1,35

Los cambios en los materiales importados, así como los criterios que nos han llevado a elegir los puntos de origen de cada material se detallan a continuación:

- **Cemento de China y hormigones (C20/35, C30/37 y genérico) fabricados con cemento de China:** se ha elegido China como origen del cemento por ser el principal país productor de esta materia prima en el mundo. Dada la opacidad en la publicación de datos de emisiones, se ha tenido en cuenta la estadística del World Business Council for Sustainable Development (WBCSD, 2010), que, en su proyecto GNR, afirma que las emisiones en la producción de cemento en 2008 en China son idénticas a las españolas (excluidas las debidas a la electricidad). Por tanto, se ha creado un cemento chino basado en el cemento Portland español (Cardim de Carvalho Filho, 2001), sustituyendo el mix eléctrico español por el chino (IEA, 2009a), y añadiendo el transporte desde China central (Wuhan), por carretera y mar (17 936 km). Se ha tomado este punto de origen por representar una buena estimación de la distancia media que recorren los materiales provenientes de China, que se producen en la mayoría de regiones del país. En los hormigones modificados se



han tenido en cuenta las emisiones de este cemento chino en la etapa de preproducción, como una materia prima más, eso sí, usando los factores de emisión de China (IEA, 2009b).

· **Acero de China:** también se escogió China por su importancia en magnitud como productor de acero primario. Tampoco se dispone de estadísticas de emisiones en producción detalladas para este material si procede de China, por tanto, nos hemos basado en datos de Baosteel, primer productor de China y segundo a nivel mundial en 2009 (World Steel Association, 2010), que afirma que una tonelada de su acero en la actualidad emite 2,1 toneladas de CO<sub>2</sub> (Baosteel, 2006), emisiones muy similares a las del acero europeo de 1994 (Environmental Life-Cycle Inventories of Energy Systems, 1994). Por tanto, se procedió a elaborar el acero chino basándose en datos europeos, añadiendo el transporte desde China (desde Baoshan, sede de la empresa), por carretera y mar (13 498 km).

· **Pinturas de Francia:** en el caso de las pinturas, como en otros muchos compuestos plásticos, no hay tantas diferencias en los mercados de producción como en los anteriores materiales, que justifiquen traer pinturas de países tan lejanos. Por tanto, se ha elegido Francia como origen debido a que tiene una industria química más potente que la española, y además porque así se mantiene una mayor coherencia con las fuentes de información, que en el caso de las pinturas, provienen de Francia (Vandenberghe & Berthet, 2005). Así pues se ha incorporado este nuevo material considerando el mix eléctrico francés (IEA, 2009c) y añadiendo el transporte por carretera desde las cercanías de Niza (1350 km), de donde proviene el material del citado estudio, y que supone además una buena estimación de la distancia media desde el conjunto del territorio francés.

· **Aluminio de Francia:** el mercado de producción del aluminio primario está también muy diversificado en cuanto a regiones productoras (IAI, 2010), encontrándose la mayor parte de la producción mundial en el continente europeo. Por tanto, hemos asumido que el aluminio importado a España puede provenir en su mayor parte de nuestro continente. Dentro de Europa, se ha elegido Francia por poseer un mix energético más bajo en emisiones que el nuestro; estando las emisiones en la fabricación del aluminio muy ligadas al mix eléctrico, es interesante comprobar el efecto que este hecho produce en el total de emisiones. Los cambios en el material vuelven a ser mínimos, ya que el estudio de Leroy (2005) se centra en procesos de fabricación de aluminio en

Europa. Así, se ha sustituido el mix eléctrico español por el francés de 2008 (IEA, 2009c) y añadido el transporte por carretera, en este caso desde Saint-Jean de Maurienne (1.441 km), localidad donde tiene una de sus fábricas la empresa Rio Tinto-Alcan, principal fabricante en suelo galo.

Los resultados obtenidos con este escenario se muestran en la tabla 7.5, comparando el caso base con el caso de materiales importados directamente o de materiales de construcción basados en materiales importados (caso del hormigón con el cemento chino como materia prima).

**Tabla 7.5** Resultados de emisiones de GEI del escenario caso base frente a materiales importados, en kg CO<sub>2</sub>e. *Elaboración propia.*

	Caso Base	Escenario Materiales Importados	Variación respecto al caso base
<b>Etapas Construcción</b>	<b>3,90E+08</b>	<b>4,03E+08</b>	<b>3,33%</b>
Emisiones de Materiales	8,02E+07	9,37E+07	16,83 %
Materiales producción – emisiones dependientes de la energía	3,93E+07	4,78E+07	21,62 %
Materiales producción – emisiones independientes de la energía	1,87E+07	1,96E+07	4,81 %
Materiales preproducción	2,22E+07	2,63E+07	18,47 %
Materiales preproducción	2,22E+07	2,63E+07	18,47%
Capítulo Drenaje	2,87E+06	3,73E+06	29,97%
Capítulo Estructuras	2,16E+07	2,74E+07	26,85%
Capítulo Firmes	2,06E+07	2,07E+07	0,49%
Capítulo Señalización	8,26E+05	9,64E+05	16,71%

Se aprecia que el aumento en emisiones en el elemento Materiales es importante (más de un 16%) con un total de 13500 toneladas de CO<sub>2</sub>e más debido a la importación, y que implica un aumento en las emisiones totales de GEI del proyecto de casi un 3%.

Se debe considerar que los materiales cuya contribución al total de emisiones es importante. En este proyecto los materiales suponen un 17,10% de las emisiones totales, lo que hace que un aumento sustancial en sus emisiones afecte de una manera directa sobre el total.

Las tres filas relativas a materiales de la tabla anterior muestran los aumentos de emisiones relativos a la producción de estos (dependientes de la energía e independientes de la energía) y a su preproducción. Como es esperable, las emisiones independientes son prácticamente similares, puesto que el mayor cambio es la modificación en las fuentes, es decir, en las emisiones dependientes de la energía. Las emisiones relativas a la producción relacionada con el consumo de energía y la preproducción de los materiales aumentan alrededor de un 20% principalmente por la diferencia de mixes eléctricos (según países) en los materiales y también por el gasto en combustibles del transporte desde los países considerados.

Estas fases (producción y preproducción) varían según el material. Así por ejemplo, para el caso del hormigón, las emisiones del transporte del cemento, de su mix eléctrico y de los combustibles para la fabricación del cemento chino están consideradas en la preproducción (pues el cemento chino aparece como materia prima no como material final). Para el caso de la pintura francesa, las emisiones del transporte se encuentran asignadas a la fase de producción.

Se han analizado además las emisiones de GEI de los distintos capítulos. Se han excluido los capítulos de Movimientos de Tierra y de Ordenación Ecológica que no incorporan los materiales modificados. Los capítulos con mayores incrementos de emisiones relativas a la importación de los materiales estudiados resultan ser el de Drenaje, Estructuras y Señalización, por el uso en los dos primeros del cemento, el hormigón y el acero, y en la última de la pintura, el acero y el aluminio.

### **7.3.2 Caso base frente a materiales con origen nacional a 800 km de distancia**

Se trata de un escenario similar al anterior pero en este caso variando únicamente la distancia de transporte, es decir la distancia al centro de suministro o fabricante, para comprobar el impacto sobre las emisiones de GEI que tiene el hacer una obra más o menos próxima a los fabricantes de los materiales de construcción (sin variar los combustibles o el consumo eléctrico de la producción de cada material). Únicamente se ha modificado el origen de los siguientes materiales: el acero, el

aluminio, las pinturas, el hormigón y el cemento. El resto se han mantenido con las distancias consideradas en el proyecto original.

De este modo, se compara la posibilidad de comprar materiales cercanos frente a materiales a una distancia de 800 kilómetros, considerando la compra de materiales de obra, en el norte de España como máximos productores de estos materiales como son el País Vasco o Cataluña. En este caso, lo que se trata de estudiar es la variable de cambio de distancias de transporte dentro de los vehículos de transporte de los componentes de unidad de obra del proyecto, según lo comentado. Así, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 7.6.

**Tabla 7.6** Resultados de emisiones de GEI del escenario caso base frente a materiales de origen nacional a 800 km de distancia, en kg CO<sub>2</sub>e. *Elaboración propia.*

	Caso Base	Escenario Materiales Regionales (800 kms)	Variación respecto al caso base
<b>Etapas Construcción</b>	<b>3,90E+08</b>	<b>3,91E+08</b>	<b>0,26%</b>
Emisiones de Maquinaria de Transporte	2,89E+06	4,16E+06	43,94%
Capítulo Movimiento de Tierras	3,59E+08	3,60E+08	0,28%
Capítulo Estructuras	2,16E+07	2,19E+07	1,38%
Capítulo Señalización	8,26E+05	8,32E+05	0,73%

En los resultados anteriores se muestran cómo al variar las distancias al centro de suministro del entorno del proyecto (entre 5 y 30 kilómetros) a una distancia superior (fijada en 800 kilómetros) supone un aumento de emisiones de GEI de un 0,26% (1910 toneladas de CO<sub>2</sub>e) en el total del proyecto. El aumento en emisiones relacionadas con los vehículos de transporte aumenta en un 66,09%. Al analizar capítulo a capítulo, se ve la influencia que tiene el transporte en cada área. Se debe notar que, por ejemplo, en el movimiento de tierras apenas hay influencia porque los transportes de áridos no se han considerado con esas distancias.

### **7.3.3 Caso base frente a Mix eléctrico 100 % renovables en la producción de materiales**

Se plantea como escenario el caso de uso de materiales en cuya producción haya intervenido un mix 100% renovable, en lugar del mix eléctrico nacional, con objeto de identificar la importancia de la contribución del consumo de electricidad sobre el total de las emisiones de GEI en relación con la producción de materiales de obra.

Este escenario es posible debido a que la Comisión Europea (directivas 2009/28/CE, 2004/8/CE, 2009/72/CE) insta a los gobiernos de la Unión Europea a exigir a las empresas del sector eléctrico que garanticen las fuentes de origen de la electricidad suministrada a los consumidores y su impacto ambiental, al menos en emisiones específicas de CO<sub>2</sub>. Este hecho significa, a efectos prácticos, que legalmente es posible hacer distinción dentro de la electricidad que consumimos entre energía de orígenes diferentes, y por tanto, con emisiones de GEI dispares. En España, es la Comisión Nacional de la Energía (CNE) el organismo encargado de certificar el origen de la energía mediante el “Sistema de Garantía de Origen y Etiquetado de la Electricidad” cuya normativa se recoge en la Orden Ministerial ITC 1522/2007.

El sistema permite a las empresas comercializadoras ofrecer a sus clientes energía con mayor contenido en renovables, que puede llegar al 100%. Estos kW certificados son restados al mix de comercialización del resto de empresas, que lógicamente queda con emisiones mayores. A efectos prácticos, al ser la energía un mercado liberalizado (Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico), cabe la posibilidad de que el consumo eléctrico de cualquiera de los procesos implicados en la construcción de carreteras pueda tener unas emisiones diferentes dependiendo de la compañía eléctrica que les suministre. Ya existen estudios, enmarcados dentro del ACV atribucional, que defienden el uso de las Garantías de Origen en huellas de Carbono (Raadal, 2012).

Es, por lo tanto, un escenario posible el primar la compra de los materiales de obra a aquellos fabricantes y productores que utilicen un mix eléctrico 100% renovable certificado. Para comprobar el impacto en las emisiones totales de GEI sobre el total de una carretera, a continuación se muestran los resultados obtenidos para el caso práctico analizado (tabla 7.7).

**Tabla 7.7** Resultados de emisiones de GEI del escenario Caso base frente a mix eléctrico 100 % renovable en la producción de materiales, en kg CO<sub>2</sub>e. *Elaboración propia.*

	Caso Base (Mix eléctrico nacional)	Escenario Mix 100 % Renov.	Variación respecto al caso base
<b>Etapa Construcción</b>	<b>4,69E+08</b>	<b>4,65E+08</b>	<b>- 0,85%</b>
Emisiones de Materiales	8,02E+07	7,58E+07	- 5,49%
Materiales producción dep. energía	3,93E+07	3,49E+07	- 11,20%
Sector Electricidad Industria	3,85E+06	0,00E+00	- 100,00%

Como se muestra en los resultados anteriores, el cambio en la producción de los materiales de un mix nacional por un mix 100% renovables tiene un efecto sobre el total del proyecto de un 0,85%, un total de 4.000 toneladas de CO<sub>2</sub>e de reducción. Este cambio, atendiendo únicamente al elemento de materiales, supone un 5,49%. Se muestra también la reducción en la fase de producción en las emisiones dependientes de la energía que es donde se actúa en este escenario con un porcentaje mucho mayor. Las emisiones de combustión debido al consumo de electricidad son, lógicamente, cero en este escenario, con lo que se reduce el 100% de las emisiones en esta fase.

Los materiales son un elemento fundamental en el total de los proyectos, por lo tanto una reducción importante en las emisiones de los mismos supone una variación en el total. Al tratarse de reducciones de un 5%, la afección al total no llega al 1% de emisiones totales de GEI, siendo sin embargo valores altos en toneladas de CO<sub>2</sub>e evitadas y por tanto considerables.

#### 7.3.4 Caso base frente a firme de distinta composición (hormigón) y sección

El objetivo es elaborar un ejemplo de escenario comparativo entre distintos tipos de firmes. En el proyecto de construcción analizado se tiene una sección tipo 131 de Mezcla Bituminosa y se busca comparar esta alternativa con otra sección que cumple la Instrucción de Carreteras para el diseño de firmes en el mismo tipo de tráfico y explanada. Tras un predimensionamiento teórico se ha decidido cambiar el firme a una sección tipo 134 de pavimento de hormigón, con menor espesor (10 cm) pero que cumple los mismos requisitos técnicos. Aparece en la figura 7.1 las posibles

secciones de firme para el caso del proyecto analizado de acuerdo a la norma 6.1-IC de firmes (Ministerio de Fomento, 2003).

131		134	
cm	tipo	cm	tipo
3	M-10	25	HP-45
7	S-20		
15	G-20	15	HM-20
25	ZA		
30	S-EST3	30	S-EST3

**Figura 7.1** Secciones posibles para la explanada, tráfico T1 y condiciones técnicas señaladas en el proyecto Autovía IV Centenario según la Norma 6.1. IC (Ministerio de Fomento, 2003) *Elaboración propia.*

Siguiendo estas especificaciones (cambio de la mezcla bituminosa con espesor de 25 centímetros y zahorra artificial de otros 25 cm por un pavimento hormigón de firme de 25 cm con hormigón en masa de 15 cm), este escenario pretende ser una referencia para el proyectista cuando escoge entre alternativas de sección de firme, siempre escogiendo entre aquellas que la Instrucción de Carreteras permite, y así relacionarlo con las emisiones de GEI. Los resultados de este caso aparecen en la tabla 7.8. Debe tenerse en cuenta que para llegar a conclusiones absolutas se debería aplicar sobre más casos, para sacar un patrón común, lo que constituye una posible futura línea de desarrollo. Para reflejar el hecho importante aducido en los estudios de la ventaja del hormigón frente al bituminoso por su bajo mantenimiento (Athena Institute, 2006; Milachowski et al., 2010), se ha considerado de una manera simplificada la etapa de mantenimiento, como ocurre también, por otro lado, en el caso base. Si bien esto resulta suficiente en una primera aproximación, y en este contexto exploratorio de carácter general, no obstante cabe plantear en el futuro un esquema de mantenimiento más completo y realista para dar resultados más precisos. En el caso del firme de hormigón, por su mayor durabilidad, se ha optado por realizar una única rehabilitación a los 25 años, frente a las 5 programadas para el caso base.

Como se muestra, el cambio de un pavimento de MB por un pavimento de hormigón resulta claramente favorable a las mezclas bituminosas con un 37,18% menos de emisiones de GEI respecto al escenario de pavimento de hormigón, esto es, 145 000 toneladas de CO<sub>2</sub>e menos. Se

**Tabla 7.8** Resultados de emisiones de GEI del Escenario caso base frente a de firme de diferente composición (hormigón) y sección, en kg CO<sub>2</sub>e. *Elaboración propia.*

	Caso Base (pavimento MB -131-)	Escenario pavimento hormigón -134-	Variación respecto al caso base
<b>Etapa Construcción</b>	<b>3,90E+08</b>	<b>5,35E+08</b>	<b>37,18%</b>
Capítulo Firmes	2,06E+07	1,05E+08	509,70%
Emisiones de Maquinaria de transporte	2,89E+06	2,68E+06	- 7,27%
Emisiones de Maquinaria de obra	2,79E+08	2,80E+08	0,36%
Emisiones de Materiales	8,02E+07	2,24E+08	279,30%
<b>Etapa Mantenimiento</b>	<b>7,15E+07</b>	<b>7,15E+07</b>	<b>0,03%</b>
Absorciones de la Carretera (materiales ubicados)	-1,55E+05	-1,05E+06	-577,42%
Emisiones de Materiales	1,03E+07	1,03E+07	0 %

aprecia además que en el capítulo de Firmes, el aumento de emisiones en el caso del pavimento de hormigón es del 509% debido sobre todo al cambio de los materiales. Se aprecia también que las emisiones relacionadas con la maquinaria son similares en uno y otro caso, pero el cambio es sustancial atendiendo al elemento de Materiales debido al relevante aumento de emisiones en el caso del hormigón, incrementando éstas en un 279,30%. Si bien es cierto también que, durante la vida útil, el hormigón superficial es capaz de absorber 3,8 kg de CO<sub>2</sub> por metro cúbico (proceso de recarbonatación) en un ciclo de 100 años para el caso de las infraestructuras lineales como las carreteras, como demuestra un estudio reciente (Galán et al., 2009). Pero estas absorciones alcanzan aproximadamente las 1050 toneladas de CO<sub>2</sub>e en el ciclo de vida en 50 años, aproximadamente un 0,2% de las emisiones producidas en la etapa de la construcción. El mantenimiento del pavimento de hormigón es menos costoso técnicamente y tiene mayor vida útil que en el caso de las mezclas



bituminosas, pero a falta de realizar un estudio detallado sobre la etapa de mantenimiento, parece que la opción más sostenible en este caso es el uso de mezclas bituminosas con diferencia.

### 7.3.5 Caso base frente al uso de MBF en firmes

Se plantea, en la misma línea de cambio de materiales en el pavimento de una carretera, el escenario comparativo entre el uso de Mezcla Bituminosa en Caliente (MBC) y Mezcla Bituminosa en Frío (MBF). Ésta última requiere menor energía de producción debido a que se utilizan temperaturas de fabricación mucho menores.

Este escenario es estrictamente teórico, teniendo en cuenta que las MBF o las MBT (Mezclas Bituminosas Templadas) tienen peores características técnicas, pero se aplican para comprobar el potencial de esta línea de investigación y desarrollo en los proyectos de infraestructuras lineales, además de por la viabilidad que puede tener su aplicación a carreteras de menor rango como aquellas con categoría de carretera convencional o similares. Se han obtenido los siguientes resultados (tabla 7.9).

**Tabla 7.9** Resultados de emisiones de GEI del escenario caso base frente al uso de MBF en firmes, en kg CO<sub>2</sub>e. *Elaboración propia.*

	Caso Base (pavimento MBC)	Escenario pavimento MBF-	Variación respecto al caso base
<b>Etapas Construcción</b>	<b>3,90E+08</b>	<b>3,78E+08</b>	<b>- 3,08%</b>
Capítulo Firmes	2,06E+07	9,35E+06	- 54,60%
Emisiones de Materiales	8,02E+07	6,89E+07	- 14,09%
Sector Industria	7,05E+07	6,05E+07	- 14,20%
Sector Electricidad Industria	3,85E+06	2,61E+06	- 32,20%

En este caso se aprecia la reducción en emisiones al cambiar el material de mezcla bituminosa en caliente (MBC) por mezcla bituminosa en frío (MBF), que aunque en el capítulo de firmes supone casi un 54,60% de reducción de emisiones de GEI, esto es, 11250 toneladas de CO<sub>2</sub>e menos, en la reducción de materiales total supone un 14,09% y en el total del proyecto en la etapa de construcción supone un 3,08%. Esta reducción es también relevante en términos relativos cuando evaluamos los sectores Industria y Electricidad Industria.

Se podría plantear por tanto un cambio en los materiales de mezclas bituminosas por aquellas frías o templadas en carreteras de segundo orden o con menores exigencias técnicas puesto que la reducción en emisiones es considerable a nivel de Firmes, sobre todo en el caso de tareas de rehabilitación.

### **7.3.6 Caso base frente al uso de materiales reciclados y reutilizados**

Se plantea en este caso la comparación entre el caso base del proyecto escogido frente al escenario con materiales reutilizados o reciclados. se podría plantear nuevos materiales reciclados, aquí sólo como ejemplos teóricos Se pretende mostrar también esta línea; que falta información específica/de calidad sobre el balance de emisiones de estos procesos. El reciclado de materiales ya es un procedimiento que se está implantando y que es relevante la cuestión de cómo es de favorable en términos de emisiones. El mayor énfasis se está realizando los materiales de construcción que de otra manera serían residuos, como los pavimentos de asfalto recuperado (RAP por sus siglas en inglés) (Milachowski et al., 2010), aunque también se están usando residuos provenientes de otros sectores , como las cenizas de incineradoras (Birgisdottir et al., 2006) En este caso, la cantidad de demoliciones que tienen lugar en la obra es muy reducida.

De esta manera, para la realización de este escenario los materiales modificados en el proyecto han sido los que aparecen en la tabla 7.10.

**Tabla 7.10** Cambios en el proyecto para el escenario de materiales con materiales reutilizados y/o reciclados. *Elaboración propia.*

Material original	Material escenario
Aluminio primario extruido	Aluminio secundario, de aluminio viejo, extruido
Hormigón genérico C20/25 16 S4	Hormigón con escorias de alto horno C20/25 S4
Hormigón genérico C30/37 S4	Hormigón con escorias de alto horno C30/37 S4
Mezcla Bituminosa en Caliente – MBC En fábrica	Hormigón Bituminoso con escorias, semicaliente, en fábrica
Acero - Acero galvanizado (sólo señales)	Aluminio secundario, de aluminio viejo, extruido
Hormigón genérico	Hormigón con escorias de alto horno C30/37 S4 (similar composición)

Aplicando estos cambios, los resultados obtenidos son los siguientes (tabla 7.11).

**Tabla 7.11** Resultados de emisiones de GEI del Escenario 9) Uso de materiales reciclados y/o reutilizados en kg CO<sub>2</sub>e. *Elaboración propia.*

	Caso Base	Escenario con materiales reciclados y reutilizados	Variación respecto al caso base
<b>Etapas Construcción</b>	<b>3,90E+08</b>	<b>3,79E+08</b>	<b>- 2,82%</b>
Emisiones de Materiales	8,02E+07	6,99E+07	- 12,80%
Materiales producción dep. energía	3,93E+07	3,87E+07	- 1,53%
Materiales producción indep. Energía	1,87E+07	1,86E+07	- 0,53%
Materiales preproducción	2,22E+07	1,25E+07	- 43,70%

El cambio de estos materiales comentados hace reducir en casi un 13% las emisiones relativas a los materiales de construcción, un 2,82% el total de emisiones del proyecto lo que supone 10 300 toneladas de CO<sub>2</sub>e.

En un desglose adicional de los materiales según sus fases, se aprecia que el mayor porcentaje de reducción tiene lugar, como es lógico dada la naturaleza de este escenario, en la preproducción (un 43,7%). Esto es debido a que al reutilizar o reciclar un material precisamente se ahorran emisiones en las fases de extracción y transporte ya que el resto de fases se realizan de igual modo, suponiendo reducciones mucho menores.

#### **7.4 Escenarios conjuntos**

A raíz de los resultados preliminares anteriores, se ha realizado unos escenarios tipo con aquellos elementos que reducen o aumentan las emisiones de GEI en los proyectos de carreteras, fundamentalmente en la etapa de construcción. Estos escenarios constituyen un ejercicio teórico que pretende poner de manifiesto el rango de mejora posible ante los elementos aquí considerados, mostrando cómo la herramienta creada en el contexto de este proyecto de investigación permite la creación de todos los escenarios que se crea conveniente.

Así, se compara el caso base por una parte con el “mejor escenario posible” donde se han realizado los siguientes cambios con respecto al caso base:

- Cambio de los combustibles de las maquinarias de obra y de los vehículos de transporte de diésel a biodiésel B-20 (20% biodiésel y 80% diésel).
- Cambio de la electricidad de las máquinas del mix eléctrico nacional a mix 100% renovables (en el caso del proyecto base corresponde únicamente a las luminarias).
- Cambio de la electricidad empleada en la producción de los materiales de construcción de mix eléctrico nacional a mix 100% renovables.
- Cambio de las luminarias de vapor de Sodio por luminarias LED.
- Uso de Mezclas Bituminosas Frías en lugar de Mezclas Bituminosas en Caliente para el firme de la carretera (teniendo en cuenta que este escenario es puramente teórico).
- Uso de materiales con alto porcentaje en reutilizados y/o reciclados, excepto MBC (tabla 7.10).

Como se puede comprobar no se han considerado: la antigüedad de la maquinaria (que no es mejorable respecto al caso base); la tecnología (al comprobar que un cambio a una tecnología más moderna no ha supuesto una reducción de emisiones e incluso ha supuesto un aumento en las mismas); un cambio en las distancias al punto de suministro (al considerarse las del caso base del proyecto las óptimas); o un cambio del pavimento a pavimento de hormigón, al resultar el cambio de la MBC por MBF una mayor reducción de emisiones totales.

Por contra, y a modo de comparación para ver el margen de reducción, se plantea el “peor escenario posible” que difiere del caso base en los siguientes aspectos:

- Máquinas con antigüedad de 5 años.
- Maquinaria de obra y de transporte con tecnología Euro I.
- Mix eléctrico comercializado sin GDO renovable en producción de materiales (excepto importados) y en maquinaria.
- Materiales importados (tabla 7.10), excepto las pinturas al agua, que son sustituidas por pinturas acrílicas, también procedentes de Francia.
- Pavimento de hormigón, como el estipulado en el apartado 7.3.4.
- Fallo en la restauración de Sistemas naturales, consistente en el no establecimiento de plantas leñosas. Se considera que no prosperan las zonas de matorral y bosque replantadas y que en su lugar crece un pastizal mediterráneo de manera espontánea.

Los resultados obtenidos en estos últimos escenarios en comparación con el caso base analizado aparecen reflejados en la tabla 7.12.

A partir de los resultados anteriores, se aprecia que con las medidas tomadas en el mejor escenario posible se podrían reducir hasta en un 34,10% las emisiones GEI totales en el proyecto en la etapa de construcción (158 000 toneladas de CO<sub>2</sub>e menos sobre un total de 390 000 toneladas de CO<sub>2</sub>e). Este ahorro está focalizado en la etapa de mantenimiento (-127,13%), donde con una buena

gestión la carretera pasaría incluso de emitir a captar netamente emisiones (unas 19 400 toneladas de CO<sub>2</sub>e). El mayor ahorro relativo se encuentra en materiales, donde entre ambas etapas se reducirían 29 600 toneladas de CO<sub>2</sub>e.

**Tabla 7.12** Resultados desglosados por etapas y actores contaminantes de las emisiones de GEI de los escenarios conjuntos. Cifras en kg CO<sub>2</sub>e. *Elaboración propia.*

	Resultados			Diferencia con el caso base	
	Caso Base	Mejor	Peor	Mejor	Peor
<b>Total</b>	<b>4,62E+08</b>	<b>3,04E+08</b>	<b>6,87E+08</b>	<b>-34,20%</b>	<b>48,70%</b>
<b>Etapla Construcción</b>	<b>3,90E+08</b>	<b>3,24E+08</b>	<b>6,09E+08</b>	<b>-16,92%</b>	<b>56,15%</b>
Elemento natural	2,77E+07	2,77E+07	4,02E+07	0,00%	45,13%
Maquinaria de transporte	2,89E+06	2,49E+06	3,05E+06	-13,84%	5,54%
Maquinaria de obra	2,79E+08	2,43E+08	2,93E+08	-12,90%	5,02%
Materiales	8,02E+07	5,06E+07	2,72E+08	-36,91%	239,15%
<b>Etapla Mantenimiento</b>	<b>7,15E+07</b>	<b>-1,94E+07</b>	<b>7,82E+07</b>	<b>-127,13%</b>	<b>9,37%</b>
Sistemas naturales	-3,76E+07	-3,76E+07	-3,47E+07	0,00%	7,71%
Maquinaria de transporte	7,90E+04	6,81E+04	0,00E+00	-13,80%	-100,00%
Maquinaria de obra	9,87E+07	1,34E+07	9,95E+07	-86,42%	0,81%
Material	1,03E+07	4,68E+06	1,34E+07	-54,56%	30,10%

Por contra, en el peor escenario posible, nos encontramos con que las emisiones aumentan un 48,70%, 225 000 tCO<sub>2</sub>e, y, al contrario que en el caso anterior, el aumento se concentra en la etapa de construcción. Los principales causantes de este aumento en la etapa de construcción son los materiales (un 239,15% más), siendo el principal causante el uso de hormigón como firme, y los sistemas naturales, con una subida de un 45,13%, debido al fallo en la restauración de leñosas. En la etapa de mantenimiento, la subida global es menor (9,37%), motivada otra vez por los mismos elementos (materiales y sistemas naturales), pero de menor cuantía.

Como resumen de estos escenarios conjuntos se debe señalar que existe un margen importante de variación en las emisiones. Según las opciones analizadas el mayor margen de mejora con respecto al caso base se encuentra en la etapa de mantenimiento y el de empeoramiento en la etapa de construcción. Los materiales son el elemento que más varía porcentualmente entre los escenarios propuestos, aunque en emisiones absolutas, la maquinaria de obra ocuparía este puesto en el mejor escenario posible.

### **7.5 Escenarios metodológicos**

Se plantean a continuación dos escenarios que en lugar de plantear alternativas en el desarrollo del proyecto, se centran en testar otras hipótesis metodológicas de cara a la evaluación de las emisiones en el ciclo de vida de las carreteras.

#### **7.5.1 Escenario responsables MTD**

En el capítulo 4, junto con la propuesta de asignación de responsables implementada en la herramienta CO<sub>2</sub>NSTRUCT, también se ha detallado la propuesta MTD (página 117). A pesar de que las mejores técnicas disponibles para el sector de la construcción de infraestructuras lineales no están fijadas, se ha implementado la asignación MTD sobre el caso base usado en anteriores escenarios. Se ha tomado como caso MTD el mejor escenario posible, descrito en el apartado precedente. Para poder aplicar correctamente la propuesta MTD, se ha realizado previamente una asignación al productor “pura” es decir, sin las modificaciones que se describen en el capítulo 4 para la asignación CO<sub>2</sub>NSTRUCT, en los escenarios contemplados. Hay que tener en cuenta tres aspectos sobre esta comparación:

- Que el “mejor escenario posible”, tomado como escenario MTD, centra sus mejoras sobre las actividades de construcción y mantenimiento, es decir, no se ha buscado la mejor técnica disponible para todos los eslabones de la cadena de producto, como habría que haber hecho para aplicar completamente la propuesta MTD.
- Que en el “mejor escenario posible” al intentar minimizar la huella de carbono, se han sustituido materiales y fuentes de energía por otras, por lo que en los resultados para producción y preproducción de estos elementos puede darse un aumento de emisiones con

respecto al caso base, debido a que no son los mismos elementos. Sin embargo, dado que los materiales y fuentes de energía usados cumplen la misma función la comparación puede tomarse como válida.

- La asignación de responsables según MTD debería aplicarse a una cadena de valor concreta, con todos los agentes identificados e individualizados, mientras que en nuestro caso los responsables están agrupados por su función en la cadena de producto.

A pesar de estos tres inconvenientes se ha decidido realizar este escenario por el interés de llevar a cabo la aplicación de esta nueva metodología de asignación a un caso concreto y complejo. Los resultados se exponen en la tabla 7.13.

Como se observa en la tabla 13, el mayor beneficiado de la aplicación de la aproximación MTD, frente a la asignación al productor, es la Constructora, que transfiere la mayor parte de sus emisiones en la etapa de construcción al consumidor. Para esta etapa la constructora es el productor al que más emisiones se asignan de forma absoluta (45 000 tCO<sub>2</sub>e); y esto a pesar de ser el responsable con menor margen de mejora relativo como se observa al comparar con los valores de emisiones del caso MTD. Destacan en la etapa de construcción también los valores negativos que obtiene la energética de combustibles, debido a que en la opción MTD se usan biocombustibles, que tienen unas emisiones en precombustión mayores al diésel normal. Esta situación viene dada por comparar dos productos no idénticos, aunque equivalentes.

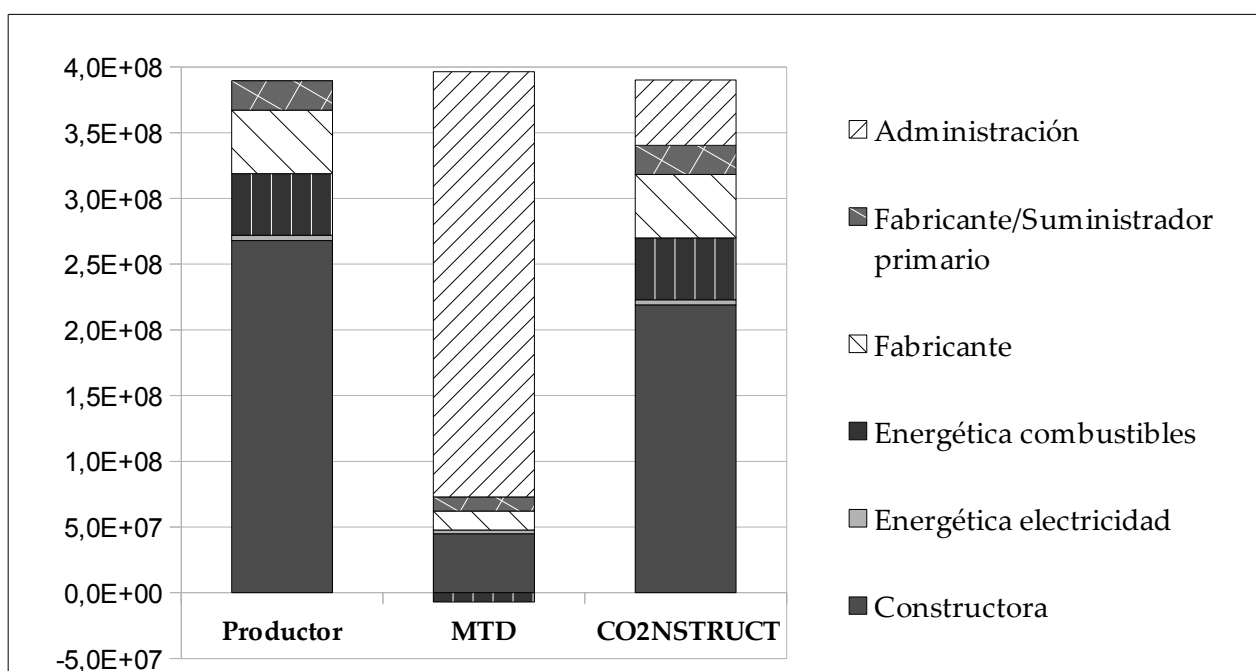


**Tabla 7.13** Asignación de emisiones según las aproximaciones al productor y MTD. Todos los valores en kgCO<sub>2</sub>e. *Elaboración propia.*

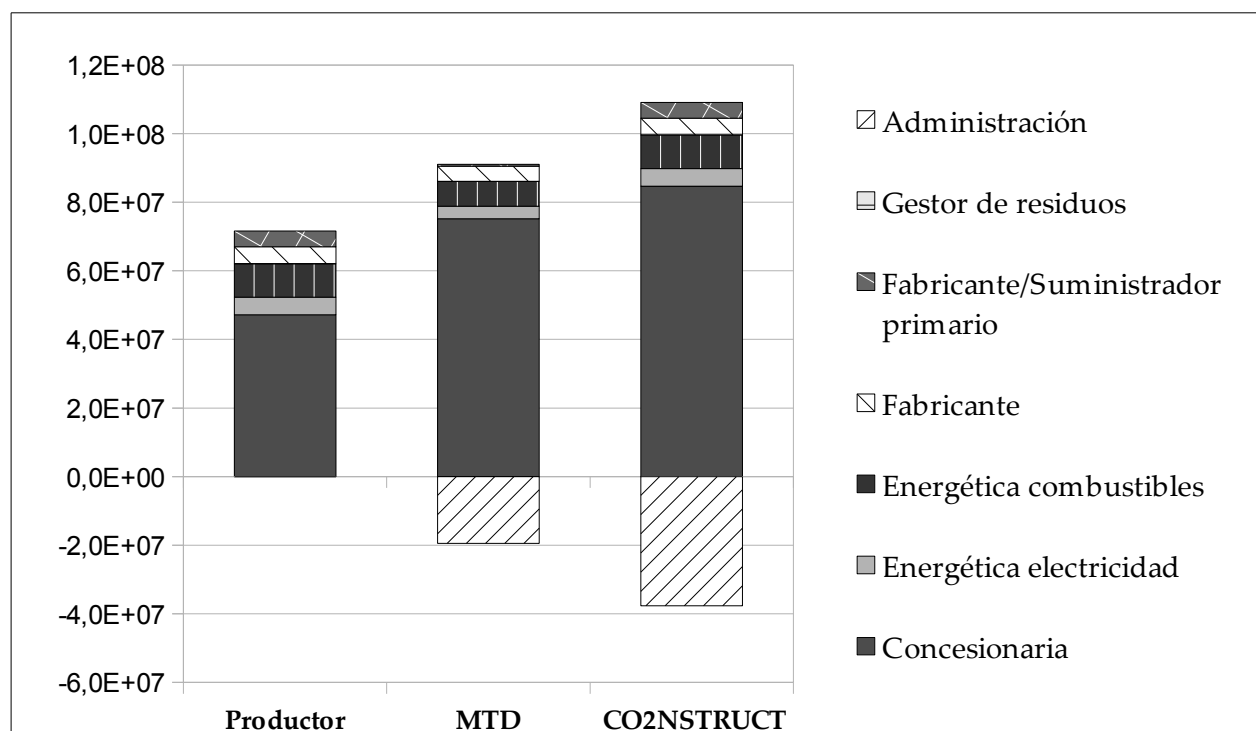
	Asignación al productor		Asignación basada en MTD
	“Mejor escenario posible”	Caso Base	Caso Base
<b>Etapas Construcción</b>			
Constructora	2,23E+08	2,68E+08	4,50E+07
Energética electricidad	1,13E+06	3,92E+06	2,79E+06
Energética combustibles	5,41E+07	4,70E+07	-7,10E+06
Fabricante	3,39E+07	4,83E+07	1,44E+07
Fabricante/Suministrador 1º	1,14E+07	2,22E+07	1,08E+07
Gestor de Residuos	-3,65E+04	-3,65E+04	0,00E+00
Consumidor (Administración)	0	0	3,23E+08
<b>Etapas Mantenimiento</b>			
Concesionaria	-2,80E+07	4,72E+07	7,52E+07
Energética electricidad	1,47E+06	5,08E+06	3,61E+06
Energética combustibles	2,56E+06	9,79E+06	7,23E+06
Fabricante	4,66E+05	4,92E+06	4,45E+06
Fabricante/Suministrador 1º	4,05E+06	4,58E+06	5,30E+05
Consumidor (Administración)	0	0	-1,95E+07

En la etapa de mantenimiento se observa que al consumidor se le asignan emisiones negativas según la propuesta MTD, porque la gestión de esta fase según las mejores técnicas llevaría a esta captación de emisiones. Este hecho provoca un mayor hándicap al resto de responsables, especialmente a la concesionaria, que es la que más poder de decisión tiene sobre las operaciones de mantenimiento. Ésta ve aumentada sus emisiones asignadas en 28 000 tCO<sub>2</sub>e con el

paso a la asignación MTD. El resto de responsables ve mejorada su asignación con respecto a una asignación al productor estándar.



**Figura 7.2** Asignación de responsables en la etapa de construcción según las aproximaciones evaluadas en este estudio para el proyecto 1. *Elaboración propia.*



**Figura 7.3** Asignación de responsables en la etapa de mantenimiento según las aproximaciones evaluadas en este estudio para el proyecto 1. *Elaboración propia.*

### 7.5.2 Escenario TAWP, o emisiones retardadas

Como último escenario, se propone variar la metodología de cálculo de emisiones, en consonancia con el debate que existe ahora mismo sobre los horizontes temporales del GWP (Brandão & Levasseur, 2011) y el tratamiento de emisiones retardadas en el tiempo, es decir, las que se producen después del año 0 del proyecto (véase apartado 1.4). En nuestro caso, se ha supuesto que la etapa de construcción se lleva a cabo completamente en ese año 0, al no tener datos exactos de la duración del proyecto.

Se han evaluado las emisiones del caso base según la propuesta de Kendall (2012), por considerarse que es la única propuesta distinta al GWP fijo (criterio de IPCC usado en este estudio) que permite una evaluación fácil y exacta para todos los gases analizados en este estudio. Para esta comparación se ha usado la calculadora llamada TAWP 1.0. (Kendall, 2011). También se ha considerado interesante hallar las emisiones con un horizonte temporal de 500 años ( $GWP_{500}$ ) siguiendo ambos métodos (IPCC y TAWP), dada la cercanía relativa del horizonte del  $GWP_{100}$  con la vida útil de la infraestructura (50 años). Los resultados se exponen en la tabla 7.14.

**Tabla 7.14** Emisiones del proyecto base según las diferentes metodologías de cálculo. Todos los valores en  $kgCO_2e$ . Basado en IPCC (2007) y Kendall (2012).

	Horizonte temporal de 100 años			Horizonte temporal de 500 años		
	$GWP_{100}$	$TAWP_{100}$	Diferencia	$GWP_{500}$	$TAWP_{500}$	Diferencia
<b>Total Proyecto</b>	<b>4,61E+08</b>	<b>4,44E+08</b>	<b>-3,63%</b>	<b>4,47E+08</b>	<b>4,44E+08</b>	<b>-0,67%</b>
Etapa Construcción	3,90E+08	3,90E+08	0,00%	3,76E+08	3,76E+08	0,00%
Etapa Mantenimiento	7,15E+07	5,44E+07	-23,95%	7,08E+07	6,77E+07	-4,37%

Como se aprecia en la tabla, las diferencias entre las dos aproximaciones son significativas en el caso del horizonte temporal de 100 años, caso en el que se deberían contabilizar 17 100  $tCO_2e$  menos (un 23,95% de la etapa de mantenimiento, un 3,63% del total) según la propuesta TAWP. Estas diferencias se diluyen cuando el horizonte temporal es mayor (500 años) hasta suponer únicamente un 0,67% del total del proyecto (3100  $tCO_2e$ ) en este horizonte. La etapa de

construcción no se ve afectada por la aplicación de la metodología TAWP, dado que esta etapa tiene lugar en el año 0 y por tanto no se dan emisiones retardadas.

## **8 Discusión General**

Este capítulo está dedicado a analizar tanto los resultados de los proyectos (capítulo 6) como de los escenarios propuestos (capítulo 7). No obstante, también consideramos importante contrastar la metodología utilizada con la bibliografía, ya que es novedosa en muchas de las aproximaciones y soluciones planteadas. Por tanto, en este capítulo se va a contrastar todo el presente estudio con el resto de publicaciones relevantes hasta la fecha.

### **8.1 Metodología**

Estamos ante una primera aproximación a la medición de la huella de carbono de infraestructuras lineales en nuestro país. Se ha intentado tomar un punto de vista holístico, basado en el análisis de ciclo de vida, como hacen el resto de estudios mencionados en la introducción, intentando completar el análisis con aspectos no tratados por otros, como los impactos provocados por los usos y cambios de uso de territorio y silvicultura (UTCUTS). En este sentido, como puede comprobarse en detalle en la tabla comparativa de estudios utilizada en la discusión de los resultados (ver tabla 8.1, más adelante), el alcance de nuestro estudio es más amplio, en términos generales, que el de anteriores propuestas.

Sin embargo, nuestra aproximación, como el resto de las existentes, no está exenta de simplificaciones metodológicas necesarias para realizar el análisis. Como principales aspectos que se han simplificado podríamos destacar:

- El análisis sobre proyectos de carretera y no sobre la ejecución de los mismos. Esta simplificación se justifica en que si se desea que pueda ser usado nuestro análisis como herramienta de gestión y ayuda en la toma de decisiones, es necesario evaluar en la fase de diseño. Si se realizara el seguimiento de la etapa de construcción a pie de obra, tarea tremendamente complicada a nivel logístico y costosa económicamente, sería necesario extender el análisis al resto de etapas del ciclo de vida (lo que es aún más complicado). Si no es así, el análisis no sería coherente, dado que se generarían diferencias de incertidumbre en los datos entre la etapa de construcción y el resto de etapas. Además, si los datos del presupuesto del proyecto se asumen como válidos para estimar el coste económico de la misma, parece razonable que su precisión sea asimismo aceptable para estimar la huella de carbono.

- El uso de unidades de obra cuyos componentes están definidos a nivel “estadístico” y no real. Los componentes de UO necesarios para realizar la unidad de trabajo definida en cada UO no han sido medidos en cada proyecto, sino que han sido tomados de bases de datos o estimaciones hechas por el proyectista. Esta simplificación deriva de la anterior, y se puede justificar con los mismos argumentos.
- La estructura de la etapa de mantenimiento está basada en estimaciones muy generales. Esta limitación, y sus consecuencias ya han sido ampliamente comentadas en el capítulo 6.
- Se ha asumido que todas las emisiones se llevan a cabo en el mismo momento, sin distinguir la temporalización de las diferentes etapas (construcción, mantenimiento...). Este hecho, comentado en el apartado 1.4.3, ha motivado la realización del escenario de emisiones retardadas (apartado 7.5.2), con el que se ha evaluado el alcance de esta simplificación. Las implicaciones del análisis se discuten más adelante (pág. 214 y siguientes).
- No se ha tenido en cuenta, al disponer de esa información en los proyectos en fase de diseño, el tiempo que transcurre entre la afección de los Sistemas Naturales y las acciones de revegetación, que puede ser variable entre las diferentes obras, o incluso entre los diferentes tramos de la misma, puesto que es habitual que las obras se vayan completando por tramos de manera secuencial.

Sobre la información de base, se ha optado, como recomiendan los estándares (BSI et al., 2008; WRI & WBCSD, 2011a) y se hace en otros estudios (Stripple, 2001; Weiland & Muench, 2010), por intentar tener datos lo más locales posibles, en detrimento de usar bases de datos privadas existentes, opción elegida por varios estudios recientes (Garraín & Vidal, 2008; Loijos, 2011). Esta opción implica tener datos más reales, por la cercanía geográfica de las fuentes de datos consultadas, pero muchas veces con menor capacidad de desglose que la existente en algunas bases comerciales, por la falta de detalle de las fuentes bibliográficas. Este hecho condiciona la estructura de los datos, principalmente en materiales, donde nos vimos obligados a “crear” la fase de preproducción, para agrupar todas las actividades aguas arriba de la última transformación productiva previa al uso, incluido el transporte.

Otro de los problemas principales que derivan de la heterogeneidad de la calidad de los datos son las posibles implicaciones que este hecho tiene sobre los resultados arrojados por la herramienta. Los ACV en general, se basan en modelos que son intensivos en la entrada de datos, y sensibles a la calidad de los mismos. Para evitar la generación de supuestos de entrada de consistencia desigual en el modelo, los principales estándares (BSI et al., 2005; WRI & WBCSD, 2011) consideran fundamental que los datos usados cumplan ciertos criterios de calidad. Una de las formas de ponderar el efecto de la variación de la calidad de los datos y de los supuestos de simplificación necesariamente asumidos sería a través de un análisis de sensibilidad sobre los diferentes datos de entrada del modelo.

La principal función del análisis de sensibilidad es la de poner de manifiesto cuáles son aquellos parámetros o, más en general, aspectos del sistema, que pueden tener una mayor influencia sobre los resultados del modelo; esto es, revelar a la variación de qué factores es más sensible el modelo y sus predicciones. El análisis de sensibilidad que se realiza de forma generalizada en muchos modelos es, sin embargo, una práctica poco frecuente en los ACV, dada la inmensa magnitud de parámetros susceptibles a variación. Según Huang et al. (2012), el análisis de sensibilidad en los ACV debe centrarse únicamente en las variables que mayor peso tengan sobre el total. Solamente en pocos estudios se ha llevado a cabo de forma ortodoxa, restringiéndolo a unas pocas variables, por ejemplo: a la fabricación del cemento en Nisbet et al. (2001)), a la temperatura de fabricación de la MBC y la producción de betunes en Huang et al. (2009b) o a 12 características generales de las carreteras en Loijos (2011). El GHG Protocol llega a incluso al punto de identificar el análisis de sensibilidad con la generación de escenarios, lo que nos parece muy discutible. Es cierto que el análisis de escenarios se busca también identificar la variabilidad asociada al cambio de ciertas suposiciones (plausibles) del modelo, pero habitualmente consiste en analizar un caso discreto de todo un espacio continuo de variación de una o varias variables combinadas. En este sentido, muchos autores han generado escenarios en ámbitos concretos, como las distancias de transporte (Athena Institute, 2006) o las características del mantenimiento (Athena Institute, 2006; Milachowski et al., 2010).

La perspectiva del análisis de sensibilidad también está implícita en nuestra propuesta de análisis de escenarios. Con nuestro numeroso elenco de escenarios propuestos, hemos intentado

captar esta influencia de parámetros relacionados con elementos que han sido previamente identificados como los mayores contribuyentes a las emisiones, como la maquinaria de obra o los materiales usados. Un análisis transversal de los resultados obtenidos puede determinar de forma preliminar la respuesta de nuestro modelo a la variación de esos factores.

Para terminar con la discusión acerca de la información de base, consideramos fundamental establecer una base de datos de carácter nacional completa y precisa, que a nivel de España, no existe. Lo más preocupante es que, no hay un interés muy definido por crearla, bien sea porque no se entiende como necesaria, bien por falta de recursos o motivación por parte de las empresas, o simplemente, por falta de interés en compartir información con la competencia. El único intento en esta dirección es la base de datos del ITEC, aún bastante incompleta. Crear una base de datos nacional y completa sería un proyecto importante, aunque caro, que debiera ser centralizado o coordinado quizás por la administración, aunque siempre con la implicación de las principales constructoras, que cuentan con la ventaja de su posición de liderazgo.

Con respecto a la metodología de sistemas naturales, se debe tener en cuenta que los resultados mostrados corresponden a estimaciones para condiciones ideales en donde la restauración es exitosa y, por tanto, las plantas alcanzan el desarrollo correspondiente a los sistemas naturales objetivo. Esto es únicamente posible cuando se aplican en la restauración metodologías científico-técnicas avanzadas y el mantenimiento de los plantones está garantizado (Mola et al., 2009). En este contexto, consideramos cuestionables por elevadas las estimaciones de crecimiento vegetal propuestas en la Guía de Buenas Prácticas del IPCC (IPCC, 2003), incluso las correcciones hechas para España en el INEGEI. Esta sobrestimación es particularmente patente en el contexto de la restauración de áreas afectadas por infraestructuras lineales, donde varios estudios señalan altas posibilidades de estancamiento en el crecimiento de los plantones (De la Riva et al., 2011; Mola et al., 2009). En el presente estudio la metodología está basada en el crecimiento teórico de las plantas y por tanto, recomendamos establecer comparaciones con la realidad mediante estudios empíricos en futuras restauraciones de carreteras.

Una de las mayores limitaciones en esta parte del estudio es la falta de datos sobre la materia orgánica del suelo, sobre la que únicamente se tiene una estima de carácter general. Esta falta de



datos se podría subsanar fácilmente obligando, durante la elaboración del estudio de impacto ambiental, a realizar un muestreo representativo, en donde se determinase el contenido en materia orgánica del suelo en laboratorio. Estos datos proporcionarían unos valores mucho más exactos con relación a la localidad y el sistema natural en particular, serían incluidos más tarde en la huella de carbono del proyecto, y podrían ser usados para crear una base de datos a nivel nacional, con un coste menor que el derivado de un gran proyecto de investigación a este efecto, que no termina de materializarse.

Con respecto al procedimiento para estimar el balance de CO<sub>2</sub>, debe tenerse en cuenta que, al determinar el impacto relativo a la destrucción de los sistemas naturales preexistentes, únicamente se ha considerado la oxidación del total del carbono contenido, como recomienda la anteriormente mencionada metodología para hallar el balance en cambios de uso de tierra (IPCC, 2003). No se ha tenido cuenta el carbono que estos sistemas preexistentes fijarían durante la vida útil de la carretera. Creemos que este procedimiento presenta grandes ventajas operacionales, al constituir un sistema de contabilidad de emisiones claro y evitar hacer asunciones dudosas a largo plazo. En este enfoque coincidimos con Melanta (2012) que también tiene en cuenta por un lado las afecciones y por el otro la restauración, sin trazar una línea base de emisiones para los sistemas eliminados. No obstante, Milà i Canals et al. (2007) y Cherubini et al. (2011) proponen contabilidades alternativas que, aunque hay bastante discusión aún entre ellas, podrían incorporarse en una fase posterior, también cuando se disponga de mayor información. Además, nosotros evaluamos proyectos en fase previa a su ejecución y no sabemos el tiempo exacto que transcurre desde el despeje del terreno hasta la restauración, uno de las variables utilizadas en esas contabilidades de detalle.

Una de las fortalezas de nuestro estudio es la herramienta CO<sub>2</sub>NSTRUCT, cuya base de datos tiene una gran coherencia geográfica (85% de los ítems de ámbito nacional). Además los cálculos de las emisiones de los 126 modelos de maquinaria se hacen según el Tier 3, el que más variables contempla (más exacto) dentro del estándar EMEP, solo usado por Huang et al. (2009a). Otro punto fuerte de la herramienta es la importación de los proyectos de obra reales y concretos, lo que asegura que se cubren todas las actividades que se llevan a cabo en las obras; este requisito sólo lo cumplen, en un principio, Stripple (2001), SUSCON (2006) y Cass & Mukherjee (2011). Los estudios

que analizan carreteras tipo (Garraín & Vidal, 2008; Loijos, 2011; Treloar et al., 2004) no son capaces de valorar fielmente las emisiones ligadas a características inherentes al trazado, como serían los movimientos de tierra necesarios o los cambios de uso del terreno.

Una de las pequeñas incoherencias que tiene la herramienta es que se asignan a la etapa de mantenimiento ciertos impactos que son producto de actuaciones en la etapa de construcción, como la gestión de residuos de la etapa de construcción, la captación de CO<sub>2</sub> por medio de la carbonatación de estructuras de hormigón y de las plantaciones de vegetación y sistemas naturales asentados. Esto es debido a que estas emisiones y captaciones tienen lugar durante la vida de servicio de la carretera, que coincide temporalmente y suele asimilarse, por tanto, con la etapa de mantenimiento, aunque no sean consecuencia de las actividades de la misma. Por otra parte, se deriva de una lógica asumida en la estructura de la herramienta: la duración de la vida de servicio está especificada por definición en la etapa de mantenimiento, con objeto de optimizar el cómputo de emisiones. Este dato es un parámetro necesario para los cálculos de las mediciones de las actividades de mantenimiento y, puesto que también se usa en los cálculos de las emisiones o captaciones a largo plazo, éstas son contabilizadas en la etapa de mantenimiento.

Las ventajas de la metodología y la herramienta aquí expuestas pueden ilustrarse mediante el amplio desglose de los resultados que se ofrecen para un mismo proyecto. Esta versatilidad en los resultados permite un análisis desde diferentes puntos de vista, ayudando en la toma de decisiones, al poderse interpretar los mismos resultados desde puntos de vista diferentes.

## **8.2 Casos de estudio**

En la siguiente tabla se muestran las emisiones de GEI por unidad funcional de los estudios previos comentados en la introducción y de nuestro estudio, contextualizados según su respectivo alcance (tabla 8.1).

El alcance de los estudios anteriores es muy heterogéneo, por lo que es complicado establecer comparaciones directas con nuestros resultados (tabla 8.1). No existe ninguna aproximación que considere todas las etapas aguas arriba y aguas abajo de una carretera, analizando todos los GEI y teniendo en cuenta, el uso del suelo y cambio de uso del suelo o las emisiones o capturas de CO<sub>2</sub>

(principalmente recarbonatación en nuestro caso) de los materiales ya instalados. Entendemos además que los valores finales solo adquieren sentido al aparecer contextualizados junto al alcance establecido por los investigadores; esto es, precisamente lo que permite entender la disparidad en ocasiones entre unos estudios y otros.

Concretamente, ninguno de los estudios consideran la recarbonatación del cemento y hormigón (excepto Loijos (2011) y Strippel (2001)). Muchos tampoco tienen en cuenta las tareas de mantenimiento (Chang et al., 2010; Garraín & Vidal, 2008; White et al., 2010 etc), que si bien tienen menor importancia en los resultados finales, según Santero et al. (2011b) no deben ser minusvalorados por ello.

**Tabla 8.1** Alcance y resultados de otros estudios por kilómetro de carretera. a) Proyecto de rehabilitación, no de construcción completa b) Asumiendo carretera de cuatro carriles. *Elaboración propia.*

Autores	Año	Etapas del ciclo de vida de la infraestructura							Resultados por gases				Otros aspectos		Resultados		
		Producción de materiales		Transporte		Fin de vida			CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	Agregado en CO <sub>2</sub> e	Otros	Vida útil (años)		Cambio de uso del terreno	Carbonatación del hormigón
Firme	Otros	Mov. de tierras	Calzada	Construcción	Operación	Mantenimiento	Reparación										
Mrueh	2000	•	•	•	•	•	•	•				•		50			297 – 596
Stripple	2001	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	40	•	•	2000 -2500
Nisbet et al	2000	•	•	•	•	•	•				•	•		40			n/d
Park	2003	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	20			8940
Treloar	2004	•				•	•							40			1632
Athens	2006	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	50			490 -1266
Birgisdóttir et al	2006	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	100			1755
NTUA	2006	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	50			940
Garraín & Vidal	2008	•	•	•	•	•	•							40			1320 – 3760
Huang et al	2009 a	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	-			284 <sup>a</sup>
Huang et al	2009b	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	15			853 – 900
Chang et al	2010													-			n/d
White et al	2010	•	•	•	•	•	•							-			128 – 587
Weiland & Muench	2010	•	•	•	•	•	•	•						50	•		0,124 – 0,331 <sup>a</sup>
Milachowski et al	2011	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	30			2214 – 3093
Loijos	2011	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	40	•		404 - 6500
Cass & Mukherjee	2011	•	•	•	•	•	•	•						-			1956 – 3436 <sup>ab</sup>
Huang et al	2012	•	•	•	•	•	•	•	•					25			897 – 9626
Melanta et al	2012	•	•	•	•	•	•	•						20	•		38785
CO <sub>2</sub> STRUCT	2011	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	50	•	•	8880–50300

Comparando los valores de las etapas de la carretera, la importancia relativa de las emisiones en mantenimiento en comparación con la etapa de construcción es pequeña (7,6-35,3% del total), como también señalan otros autores (3-6% según Mroueh et al. (2000), 25-37% según Loijos (2011); cercano al 10% según Stripple (2001)). El caso más relevante es el del proyecto 4, donde el mantenimiento alcanza el 35,3% de las emisiones totales. Este proyecto es el único que es una carretera convencional y, por tanto, sus emisiones de la fase de construcción son bastante inferiores a las ligadas a autovías, como señala también Loijos (2011). Hay que tener en cuenta además que en la etapa de mantenimiento hay componentes que absorben CO<sub>2</sub>, como las estructuras de cemento y hormigón por recarbonatación y los sistemas naturales, por lo que los valores de esta fase varían bastante con el trazado y materiales del proyecto.

En cuanto a la pequeña comparación de las etapas de construcción y mantenimiento con la fase de tráfico, efectuada frente a un modelo de tráfico a 20 años, destaca la gran importancia relativa del tráfico en las emisiones asociadas a la infraestructura, como habían señalado otros autores (Huang et al., 2009a; Milachowski et al., 2010; Treloar et al., 2004). Aunque esta fase está fuera del alcance de nuestro trabajo, este dato nos sugiere que podría ser interesante diseñar estrategias en las etapas de construcción y mantenimiento que provoquen un menor consumo de combustible en la fase de tráfico, como han hecho algunos estudios (Loijos, 2011; Milachowski et al., 2010).

Tal y como se muestra en la tabla 8.1 nuestros valores, cuyo mayor componente es la etapa de construcción, son ciertamente superiores a los de otros estudios. Esto es debido a varias razones que tienen que ver con el alcance y la metodología. Por un lado, la consideración de la relevancia de los cambios de uso del territorio, que resulta de una magnitud importante (entre un 5 y un 10 % del total) y que es considerado únicamente por Melanta (2012), en cuyos resultados tiene un peso aún más significativo sobre el total (17%). Por otro lado, la menor importancia del capítulo de movimiento de tierras en otros estudios (Milachowski et al., 2011; NTUA (SUSCON), 2006; Stripple, 2001), que asignan a este capítulo unas emisiones relativamente mucho menores que nuestros resultados (entre el 60 y el 85 % de las emisiones totales). La preponderancia de este capítulo puede ser debida a varias razones: a que la orografía española es más compleja y sean necesarios un mayor número de desmontes y terraplenes, al tipo de obra analizada (las autovías

requieren un mayor número de movimiento de tierras) o directamente a una subestimación de este capítulo por parte de esos autores. En España el capítulo de movimiento de tierras suele acaparar un porcentaje elevado del coste total del proyecto (REF), aspecto que apoya nuestros datos. Otros autores como Athena Institute (2006), Garraín & Vidal (2008), Loijos (2011) o Treloar et al. (2004) ni siquiera consideran el movimiento de tierras en su análisis, por lo que las emisiones que obtienen resultan claramente subestimadas.

Muchos de los estudios mencionados (Athena Institute, 2006; Nisbet et al., 2000; White et al., 2010) -algunos contando con el apoyo de la industria- se han centrado directamente en el ACV de los firmes para comparar el uso de asfalto frente al hormigón. De este modo, dejan al margen la consideración de otros capítulos (estructuras, señalización, ordenación estética y paisajista) que tienen un impacto del mismo orden de magnitud que el capítulo de firmes según nuestros resultados. Además este capítulo de firmes, atendiendo a nuestros resultados, supone entre un 1,5 y un 5% de las emisiones totales, por lo que no constituiría un capítulo muy prioritario en la estrategia de reducción de emisiones.

Observando las emisiones por elementos, tenemos que el elemento responsable de la mayor parte de las emisiones es la maquinaria de obra, como ocurre en el estudio de Melanta (2012). Este resultado, contrasta con otros estudios (Park et al., 2003; SUSCON, 2006) donde predominan las emisiones asociadas a materiales, los cuales constituyen en nuestro caso la segunda fuente de emisiones. Este dato, a pesar de contradecir a la mayor parte de estudios, es coherente con la importancia del movimiento de tierras en nuestros proyectos. Los sistemas naturales, no considerados por ningún otro estudio (salvo Melanta (2012)), son más importantes en nuestro caso que la maquinaria de transporte, hecho que justifica plenamente su inclusión dentro del alcance.

Por sectores, el sector obra es lógicamente el de mayor importancia, seguido de la industria de producción de materiales. Otro sector significativo es la precombustión, solo analizado por separado, con resultados similares, por Weiland & Muench (2010). Las emisiones por maquinaria de transporte y por electricidad, de acuerdo también con los bajos valores de distancias, y el escaso uso de electricidad que figuran en los proyectos, tienen poca importancia, como señalan también otros autores (Cass & Mukherjee, 2011; Loijos, 2011). El sector UTCUTS tiene mayor peso que los

dos últimos, por lo que, coincidiendo con otros autores (Milà i Canals et al., 2007), creemos que debería ser incluido en los LCA futuros.

La clasificación de resultados por responsables según la asignación CO<sub>2</sub>NSTRUCT es una aportación novedosa de nuestro estudio. No se ha encontrado publicado ningún otro estudio que analice responsabilidades en proyectos de carreteras, con el que poder establecer comparaciones. Los resultados señalan la importancia de la constructora, y en menor medida de los fabricantes de materiales, bajo este esquema de asignación; esto resulta lógico al basarse en una asignación al productor modificada. La administración tiene una responsabilidad importante en los proyectos con impactos notables sobre los sistemas naturales. Hay que destacar también la parte atribuible a los proveedores de combustibles, a los que se asignan las emisiones de precombustión, que suponen un 10-13% del total. Más adelante, en la discusión de escenarios metodológicos, se tratarán las implicaciones del método de asignación frente a otras opciones posibles.

La gran variabilidad encontrada dentro de nuestros resultados da una idea de la dificultad de caracterizar correctamente las emisiones del sector de la construcción de carreteras. Resulta necesario, además de ampliar considerablemente el número de casos de estudio, establecer un muestreo estratificado por tipos de tramos, aislando las variables que más influyen en las emisiones (tipo de carretera, carriles, túneles y otras estructuras, orografía...) para poder determinar la variabilidad de unidades funcionales pequeñas y concretas (km de viaducto, de túnel, de carretera con terraplén...). Mientras tanto, la aproximación más adecuada para determinar las emisiones es el análisis de proyectos concretos. Esta información por “mini unidades” funcionales, unida a la correspondiente estadística a nivel nacional sobre los kilómetros construidos anualmente de los distintos tipos de tramos, constituyen los requisitos previos para llegar a estimar con cierta fiabilidad la contribución de este sector a un inventario nacional de emisiones de GEI.

### **8.3 Escenarios**

#### **8.3.1 Escenarios relacionados con la maquinaria**

Los escenarios relacionados con tecnologías y edades de la maquinaria nos ofrecen un rango de variación discreto con respecto al caso base (tablas 7.1 y 7.2). En el caso de la antigüedad de la

maquinaria, la elección de 5 años como referencia para la maquinaria antigua, basado en entrevistas con constructoras puede que sea un horizonte muy cercano, real en épocas de bonanza económica, donde la maquinaria estaba casi permanentemente en uso, pero algo corto en el contexto económico actual. No obstante, se puede observar el peso que tiene la maquinaria, y en especial la maquinaria de obra, dentro de las emisiones de proyecto, ya que una pequeña variación afecta de forma notable al total de emisiones, sobre todo en la etapa de construcción.

En el escenario de tecnologías de la maquinaria nos encontramos que la variación es casi nula, incluso aumentan en un mínimo las emisiones de la maquinaria de transporte. Frey et al. (2008) en su estudio, midiendo emisiones empíricamente, tampoco encontraron diferencias (en motoniveladoras) entre las tecnologías americanas Tier 0, Tier 1 y Tier 2 para las emisiones de CO<sub>2</sub>, aunque sí las registraron entre Tier 3 y las demás, debido a un menor uso de combustible. La diferencia entre los estándares americanos y los europeos se encuentra en que estos últimos han estado centrados principalmente en la reducción de NO<sub>x</sub> y PM, por lo que no afectan, a día de hoy (con el STAGE IIIa y el EURO VI), a las emisiones de GEI, como muestran nuestros resultados.

De todas maneras, las emisiones de maquinaria contienen una variabilidad difícil de detectar *a priori*. Según Abolhasani et al. (2008), en excavadoras, se da una mayor variabilidad entre ciclos de carga (trabajo), que entre modelos que realizan el mismo trabajo. Esta variabilidad no es bien detectada en los modelos (ellos trabajan con el NONROAD americano, pero el planteamiento es similar al realizado en COPERT) aunque estos dan una aproximación en orden de magnitud (Abolhasani et al., 2008). Mientras no haya estudios estadísticos muy completos o procedimientos rigurosos estándar de medición, consideraremos EMEP como la mejor información. Eso no quiere decir que nos olvidemos de que existe una importante variabilidad e incertidumbre en la medida del consumo de maquinarias. Y que esa variabilidad podría ser mayor que la variación producida por un cambio en tecnología (0,02%) y, por tanto, enmascarar el resultado obtenido en este escenario.

En cuanto a la sustitución del diésel por biodiésel B20, en la tabla 7.3 se observa que se reducen las emisiones de la etapa de construcción en aproximadamente un 10%. Según los estudios de campo no hay diferencias entre las emisiones de CO<sub>2</sub> en tubo de escape de diésel y



biodiésel B20, ni en maquinaria de obra (Pang, 2007) ni de transporte (Anderson, 2012). El descenso de alrededor de 13% en las emisiones de maquinaria, tanto de obra como de transporte, es debido a que las emisiones biogénicas del biodiésel no son contabilizadas, según el criterio dominante. El estudio de Pang (2007), que ha analizado las emisiones por su origen en un estudio de 15 maquinarias de obra distintas, detecta que al usar biodiésel B20 disminuye un 9% las emisiones de CO<sub>2</sub> fósil; este dato apoya en gran medida nuestros resultados.

En la etapa de mantenimiento de los escenarios de maquinaria se observa la gran influencia que tiene el capítulo de iluminación en esta etapa. En el escenario de mejores técnicas para maquinaria (tabla 7.2) el uso de tecnología LED en las luminarias reduce un 67% las emisiones por consumo de energía. En algunas ciudades se han registrado ahorros de energía de un 50% con la aplicación de la tecnología LED (Northern Ireland Assembly, 2009). La diferencia encontrada en el escenario es por tanto muy amplia, teniendo en cuenta que ni siquiera se consideran los cambios de lámpara durante los 50 años (tabla 6.2), hecho que decantaría la balanza aún más hacia las LED, dada su mayor vida útil (Szary et al., 2005). En el escenario de biodiésel, el uso de electricidad 100% renovable en la etapa de mantenimiento provoca una reducción de 95% de las emisiones en el capítulo de iluminación (tabla 7.3), debido al menor impacto del mix eléctrico renovable. Ambas estrategias (LED y mix renovable) combinadas podrían ahorrar un gran número de emisiones en la fase de uso de la infraestructura.

### **8.3.2 Escenarios relacionados con los materiales**

En los escenarios relacionados con el transporte de materiales, es interesante comprobar que el peso específico del transporte no es apenas relevante (tabla 7.6) siendo mayor la diferencia si introducimos materiales equivalentes con diferente modo de fabricación como ocurre en el escenario de materiales importados (tabla 7.5). El transporte sólo sería importante en materiales que tuviesen pocas emisiones en su manufactura a la vez que un gran volumen y peso, pero en el caso de la construcción estos materiales (por ejemplo, los áridos) se obtienen a menudo a pie de obra por cuestiones económicas. En el caso de materiales importados, tanto el aluminio, como el acero y el cemento, tienen una etapa de fabricación muy intensiva en energía, que minimiza el peso relativo del transporte en su análisis de ciclo de vida, debiéndose fundamentalmente a la

producción del material la variación observada en los resultados de este escenario (aumento del 17% en la producción de materiales y un 3,33% en el total de la etapa de construcción).

Este escenario alcanzaría un mayor interés si se tuviesen datos de mayor calidad, y se pudiesen realizar supuestos más verosímiles en cuanto al origen de los materiales. Para esto último, haría falta mejorar la base de datos con ACV de productos “cradle to gate”. Sería interesante poder comparar diferentes productos dentro de las opciones del mercado español, para comprobar si las diferencias entre los diferentes materiales nacionales son de similar magnitud que las que existen entre materiales nacionales e importados.

Las diferencias con el caso base, tanto de los escenarios de transporte de materiales como del escenario de producción de Materiales con mix 100% renovable (tabla 7.7), es muy baja en el cómputo global: es inferior al 1% en ambos casos. Por tanto, se puede concluir que ni el uso de materiales traídos de otros puntos de la Península ni el uso de materiales producidos con energías renovables, tienen un efecto significativo sobre las emisiones totales de los proyectos de carretera.

Los escenarios de firmes son los más estudiados hasta la fecha. En especial, como señalan Santero et al. (2011a), existe una gran controversia entre las ventajas e inconvenientes de los firmes de MBC frente a los de hormigón, que acapara numerosos estudios. Nuestros resultados señalan que la opción de pavimento de hormigón eleva las emisiones un 37% en construcción (31% en el total), no existiendo diferencias significativas en mantenimiento a pesar de que se multiplica por 6 la capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> de la carretera (tabla 7.8). Estos resultados concuerdan en gran medida con los obtenidos por otros estudios (Chan, 2007; Strippel, 2001), que señalan unos resultados favorables a la MBC en un rango entre el 30 y el 35% del total de emisiones. Tanto Athena Institute (2006) como Milachowski et al. (2010) obtienen diferencias de alrededor del 60% favorables a la MBC en fase de construcción, pero que son prácticamente anuladas por la etapa de mantenimiento, tremendamente favorable en emisiones al pavimento de hormigón, al no haber rehabilitación del firme en este caso. White et al. (2010) que ofrece los datos relativizados por año de funcionamiento también obtiene resultados similares.

Hay que tener en cuenta que la mayoría de estudios, y en concreto estos últimos, solamente tienen en cuenta el firme de la carretera, no consideran los movimientos de tierra. Este capítulo

supone en nuestros proyectos una gran parte del total de emisiones y provocan que la etapa de mantenimiento, en nuestro caso, no pueda compensar nunca totalmente las emisiones de la de construcción.

La fabricación de materiales decanta la balanza hacia el lado de la MBC, al tener una relevancia muy grande en la alternativa del hormigón (Chan, 2007). En nuestro estudio, las emisiones ligadas a materiales en la etapa de construcción pasan de suponer un 20% en el caso base a un 42% en el caso del pavimento de hormigón. En el estudio de White et al. (2010) la diferencia en la fabricación de materiales entre ambos casos es muy similar a nuestros resultados (un aumento del 264% frente a 279% en nuestro caso, siempre favorable a la MBC) en la etapa de construcción.

El otro escenario que se ha planteado en relación con los firmes, en este caso de forma teórica, es la sustitución de MBC por una mezcla bituminosa en frío. La aplicación de mezclas bituminosas a menor temperatura, a pesar de que actualmente no es posible realizarla en autovías conforme a la ley (Ministerio de Fomento, 2003), ya se está proponiendo y aplicando en diversos estudios, tanto mezclas bituminosas “templadas” (EIFFAGE Infraestructuras, 2009) como en frío (Huang et al., 2009b; Stripple, 2001). En su fabricación, la MBF utiliza alrededor de un 10% de la energía necesaria para fabricar MBC (Fernández et al., 2010). En nuestros resultados, el capítulo de firmes refleja este ahorro con una bajada del 54,6% de las emisiones de GEI, porcentaje idéntico al descenso en la energía usada entre variantes que reporta Huang (2009b) en su estudio. Sin embargo, en el total de la etapa de construcción esta bajada no es en absoluto tan acusada (únicamente de un 3,1%), dado el escaso peso del capítulo de firmes sobre el total (figura 6.2). Stripple (2001) obtiene unos resultados similares en el cómputo global de su proyecto, donde la bajada es inferior al 5%.

El escenario de materiales reciclados o reutilizados es el último escenario relacionado con materiales que ha sido evaluado. Entre la lista de materiales se hubiese podido incluir asfalto reciclado (RAP) como hacen otros estudios (Chan, 2007; Huang et al., 2009b) o cenizas de residuos urbanos en la subbase del firme (Birgisdóttir et al., 2006) si se hubiesen tenido datos fiables para el ámbito español. En vez de asfalto reciclado se optó por una MBC donde el árido son escorias de

alto horno, cuya aplicación piloto se ha hecho en el País Vasco (IHOBE, 2010). El escenario refleja una bajada considerable en las emisiones de materiales (12,8%), sobre todo en preproducción (43,7%), pero como en el caso de otros escenarios de materiales, el impacto sobre las emisiones totales de la etapa de construcción de la carretera es modesto (una disminución del 2,82%). No obstante, como veremos a continuación, la suma de varias medidas tomadas en estos escenarios de materiales puede tener un efecto significativo sobre las emisiones de un proyecto.

### **8.3.3 Escenarios conjuntos**

Los llamados escenarios conjuntos son dos escenarios en los que se diseña la mejor alternativa y la peor alternativa posible, con el objeto de poner de manifiesto la amplitud posible de los rangos de maniobra. La mejora posible para este proyecto, según las modificaciones planteadas, estaría alrededor de 34% de las emisiones. Por contra, el peor escenario posible sumaría casi un 50% de emisiones al caso base. Los márgenes de mejora en la etapa de construcción de nuestro proyecto no son muy amplios (17%), teniendo en cuenta el gran número de modificaciones planteadas (véase apartado 7.4). Este hecho puede ser debido a que en el proyecto se han supuesto unas condiciones de partida bastante buenas (maquinaria nueva y de tecnología actual (Stage IIIa y Euro IV en su mayoría), distancias de transporte de materiales pequeñas, éxito total en la restauración...) que convendría comprobar empíricamente si se cumplen durante la vida útil del proyecto. Este margen de mejora está bastante distribuido entre los actores contaminantes, exceptuando los sistemas naturales, donde el caso base coincide con el mejor escenario posible. Destaca el margen de mejora en el elemento materiales (37%) que parece que se confirma como el elemento con mayor margen de variación entre alternativas, como ocurre también en la etapa de mantenimiento. Fruto en parte de estas expectativas tan buenas para el caso base, el peor escenario posible refleja unas emisiones bastante mayores, debido sobre todo a los materiales (240%), relacionados con el uso de firme de hormigón por una parte; y por otra al fallo en la restauración, que hace aumentar un 45% las emisiones ligadas a sistemas naturales.

Sin embargo, en la etapa de mantenimiento, con todas las limitaciones que posee, la situación es la contraria. El mejor escenario posible, gracias sobre todo a los ahorros en las emisiones de maquinaria de obra (86,4%) y en materiales (54,6%), unido a las captaciones de los sistemas naturales, pasa de emitir 71 500 toneladas en el caso base a capturar 19 400 toneladas de

CO<sub>2</sub>e en esta etapa. En la bajada de emisiones de maquinaria influye en gran medida el ahorro en iluminación, tanto por el cambio a luminarias LED como por el cambio a electricidad 100% renovable. En el peor escenario posible, sin embargo, las diferencias con el caso base son escasas -un aumento inferior al 10%- fundamentadas otra vez en el menor mantenimiento del firme de hormigón, que hace que el gasto en maquinaria sea idéntico al realizado en el caso base, a pesar de contar con máquinas más antiguas y desfasadas. El incremento de emisiones ligado a la fabricación de materiales y, en menor medida, los sistemas naturales, son los responsables de este aumento. La modelización de este último elemento, nos muestra que, al sustituirse (por no prosperar) los ecosistemas de leñosas por pastizales mediterráneos, no se produce en realidad una gran disminución en el total de emisiones capturadas (7,7%). Este hecho se explicaría porque al ser los pastizales hábitats con mayor tasa de renovación, su balance de CO<sub>2</sub> se estabilizaría antes, mientras que los “bosques”, con crecimiento más lento, alcanzarían su máximo desarrollo más allá del ámbito temporal marcado de 50 años.

Los valores obtenidos de los escenarios propuestos hasta ahora aportan una aproximación a las posibilidades de actuación para la minimización de emisiones, identificando posibles áreas de mejora, elementos donde actuar etc. Estos escenarios apoyan la toma de decisiones para un proyecto de carreteras, sobre todo a niveles de ejecución del proyecto (selección del firme, selección de suministradores, selección de maquinarias y de subcontratas, etc.).

#### **8.3.4 Escenarios metodológicos**

El escenario de responsabilidad según la propuesta MTD es una primera aplicación de esta aproximación a un caso concreto, aunque por otro lado muy complejo. Es necesario remarcar que no se conocen todas las mejores técnicas de cada paso de la cadena, y que las técnicas implementadas en la fase de construcción y mantenimiento han sido elegidas por nosotros como “mejores”, *ad hoc*, tras observar los resultados de otros escenarios.

Hay que tener en cuenta que, con los datos que manejamos, la asignación MTD no es totalmente exacta para algunos responsables, concretamente para aquellos que no tenemos constancia de sus MTD. Este hecho es más acusado cuanto más nos alejamos hacia atrás en la cadena ya que, por la estructura de la base de datos, se pueden modificar, por ejemplo, las fuentes

de energía en la producción, pero no en la preproducción de los materiales, ni tampoco la precombustión de combustibles. No podemos variar tampoco las prestaciones de las energéticas de combustibles, donde se da la paradoja que produciendo ellas un combustible más ecológico en su conjunto (biodiesel B20), se asignan más emisiones que produciendo diésel. Quizás habría que comprobar en estos casos si conviene establecer restricciones a la sustitución de materias primas a la hora de definir las MTD de un producto.

A pesar de todo lo dicho anteriormente, esta asignación tiene ciertas fortalezas sobre la asignación al productor. Asigna a cada participante en la cadena de producto las emisiones que pueden ser evitadas por él, usando técnicas que están a su alcance. Este hecho se ve muy bien en la etapa de mantenimiento, donde la concesionaria (que puede ser la propia administración), al tomar decisiones sobre la forma de iluminar el trazado, puede ahorrar gran número de emisiones optando por un sistema u otro de alumbrado o, incluso, por una compañía eléctrica con mix renovable frente a una convencional, como ha hecho en ferrocarriles ADIF (ADIF, 2012).

Bajo esta propuesta la administración, como cliente, es la que más emisiones se asigna en la fase de construcción (figura 7.2), lo que significa que en esta fase hay poco margen de mejora entre las actuaciones realizadas y las MTD. Por otra parte, es resultado coherente en tanto que es el agente que promueve y demanda la construcción de la carretera, bajo determinadas condiciones que el mismo impone en el proyecto de obra. Esta característica de asignación de la inmensa mayoría de emisiones al consumidor es propia de productos muy optimizados o de productos muy a medida del cliente, como ocurre en este caso.

Sin embargo en la etapa de mantenimiento (figura 7.3), como hemos comentado antes, no se da esta situación. En los proyectos de carreteras no vienen apenas desarrollados los requisitos y tareas necesarias en esta fase, por lo que las prácticas pueden ser muy variadas; la concesionaria juega un papel más importante en su definición y, por tanto, asume una mayor responsabilidad. Este hecho se refleja muy bien en el caso que nos ocupa.

Por otra parte, el escenario TAWP o de emisiones retardadas, se ha realizado para comprobar si los resultados con la metodología estándar del IPCC ( $GWP_{100}$  fijo) difieren en gran medida o no de resultados con otro tratamiento de las emisiones retardadas en el tiempo u otro horizonte

temporal (en este caso a 500 años, ya que horizontes menores de 100 años no tienen sentido en proyectos con 50 años de vida útil). Se ha elegido la metodología de Kendall, por ser una aproximación que calcula todos los GEIs analizados por separado, al contrario que hace la metodología del PAS 2050, que parte de datos de CO<sub>2</sub>e (BSI et al., 2008). Esto es importante, porque la relación entre el GWP del CO<sub>2</sub> -que por definición es siempre 1 para cualquier horizonte temporal- con el GWP de los demás gases varía según el horizonte temporal aplicado, ya que el tiempo de residencia en la atmósfera de cada gas tiene un patrón diferente. Y este hecho no se tiene en cuenta al aplicar la metodología del PAS 2050, con lo que el efecto de los GEIs que no son CO<sub>2</sub> no está correctamente calculado (Kendall, 2012). Se ha incluido como complemento los cálculos del GWP a horizonte temporal de 500 años, siguiendo las recomendaciones de Brandao & Levasseur (2010), para comprobar la variación entre horizontes temporales.

Los resultados de este escenario muestran que no hay variaciones importantes en los resultados totales del proyecto evaluado entre la aproximación estándar (GWP fijo) y la del TAWP, ni a un horizonte de 100 años (reducción de un 3,6%) y menos aún a un horizonte de 500 años (-0,67%). Este hecho es debido a la preponderancia de las emisiones de la etapa de construcción, que se ha supuesto realizada en año 0 y, por tanto, no varía entre los métodos analizados. Esta suposición sería revisable si contáramos con datos a pie de obra que permitiesen relacionar cada emisión con un momento temporal dentro de esa etapa, la cual a menudo dura más de un año. La variación, por tanto, se encuentra en la etapa de mantenimiento, y con el horizonte temporal de 100 años es notable: se adjudican un 24% de emisiones menos usando la metodología TAWP<sub>100</sub>. En horizonte a 500 años, las diferencias son mucho menores (-4,4%). Esto se debe a la duración del ciclo de vida de la carretera, que es de 50 años, que supone una fracción muy grande del horizonte temporal de 100 años, pero mucho menor para el de 500.

Sería muy interesante incluir las emisiones por tráfico en esta comparación, y seguramente decaería su importancia al ser analizadas mediante la metodología TAWP, sobre todo en un horizonte a 100 años, por su peso relativo en comparación con otras etapas. Desafortunadamente, no disponemos de datos para tráfico durante todo el periodo de 50 años de vida útil, por lo que no se puede establecer esta comparación de manera correcta. Queda por tanto este punto para su

inclusión en futuros desarrollos, como otro dato más para enriquecer la discusión sobre estos escenarios metodológicos.

Más allá de los resultados en sí, estos últimos escenarios están planteados para observar en qué medida la huella de carbono está condicionada por asunciones metodológicas tomadas por convenio, frente a otras opciones también válidas que van surgiendo conforme avanzan los años. Estamos en un campo, el del ACV y, dentro de él, la huella de carbono de productos y organizaciones, muy nuevo, cuyas bases no están aún del todo asentadas. Es posible que dentro de un tiempo el consenso científico en este tema varíe y se adopte alguna de las nuevas opciones que suponga una mejora en la precisión o en la coherencia del método, ya que el avance científico se basa en la duda sobre los paradigmas del presente. Nuestra aportación con estos escenarios solo aspira a ilustrar, mediante el ejemplo de la carretera, alguna de estas nuevas opciones, para alimentar el debate.



## **9 Conclusiones**

En el presente trabajo se ha analizado la problemática de las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector de la construcción de carreteras en España. Las conclusiones del trabajo realizado se detallan a continuación.

El enfoque de análisis realizado es consistente, se basa en el presente en los ACV existentes, pero incorpora aspectos muy poco estudiados como la asignación de responsabilidad de las emisiones o las emisiones debidas a cambios de uso de territorio, buscando una evaluación holística de la problemática de las emisiones. Se ha hecho un esfuerzo en incorporar una metodología clara y precisa, que no existía hasta ahora, que incluya los impactos sobre sistemas naturales y su posterior manejo en la evaluación ambiental de los proyectos de construcción. Además, se ha integrado dentro del análisis un esquema de asignación de responsabilidades que es coherente con los estándares internacionales. El esquema propuesto, que parte de una asignación al productor de las emisiones, se adapta a las características particulares del sector de la construcción de infraestructuras lineales, características que no han sido tenidas en cuenta en los estándares actuales.

Los resultados obtenidos son sólidos, debido al trabajo sobre proyectos de obra, y al uso de una base de datos lo más amplia y local posible dentro de la información de calidad accesible. La precisión de los resultados podría mejorarse mediante la elaboración de una base de datos nacional con la participación de las principales empresas del sector y la colaboración de las administraciones públicas. Los cuatro proyectos evaluados, a pesar de que no pretenden ser representativos del total de proyectos en España, ilustran parte de la varianza existente. Sin duda, es necesario continuar analizando proyectos en España y en el extranjero, con el fin de alcanzar una muestra representativa que permita establecer conclusiones generalizables para todo el sector o para nuevas unidades funcionales (km de túnel, km de carretera en relieve llano, montañoso...).

Los resultados obtenidos están contextualizados. Se han identificado los principales componentes del sistema evaluado, poniendo en contexto su aportación a las emisiones de cada proyecto, requisito necesario para la elaboración de medidas que permitan mejorar el desempeño ambiental de las infraestructuras. Este hecho es importante en la proposición de escenarios

alternativos, porque cuantifica, dentro de un proyecto concreto, el recorrido que tienen las medidas propuestas. El disponer de resultados contextualizados es un apoyo de primera magnitud en la toma de decisiones durante el diseño y ejecución de los proyectos de carretera.

La realización del análisis ha sido posible gracias al desarrollo de la aplicación CO<sub>2</sub>NSTRUCT, cuyo diseño es una aportación fundamental de este trabajo. La herramienta CO<sub>2</sub>NSTRUCT es potente, flexible y versátil, porque permite el manejo sencillo de la amplia base de datos recopilada, así como una consulta ágil y desglosada de los resultados en base a diferentes criterios (capítulos del proyecto, actores contaminantes, sectores y responsables) y facilita la elaboración de escenarios alternativos a la propuesta principal. Por sus características técnicas (aplicación web multiacceso, control de usuarios...) puede servir como punto de partida sobre el que construir una base de datos y proyectos a escala nacional.

En cuanto a los resultados obtenidos, los proyectos de construcción de carreteras evaluados tienen un impacto ambiental, en la categoría de cambio climático, bastante mayor de lo que señalan otros estudios (entre 8860 y 50300 tCO<sub>2</sub>e/km). La disparidad de resultados con la mayoría de estudios se debe a un alcance más completo de nuestro estudio (movimiento de tierras, cambio de uso de suelo...), el uso de proyectos reales y no de calzadas tipo, o a la complejidad técnica de los proyectos españoles evaluados. Se ha constatado la preponderancia de la etapa de construcción sobre la de mantenimiento en términos de emisiones de GEIs. El resultado obtenido al aplicar sobre los proyectos evaluados el esquema de asignación de responsabilidades es que el responsable de la mayor parte de las emisiones es la empresa constructora, seguida de los fabricantes de materiales. En general, existe una importante variabilidad entre proyectos, debido a las diferentes características técnicas de los mismos, que sin embargo no es tan acusada si se analiza en términos relativos la aportación de cada componente del sistema.

El análisis detallado indica que los esfuerzos para el control y reducción de emisiones deben centrarse en las actividades de construcción, más particularmente en el capítulo de movimiento de tierras, que es el que provoca un mayor impacto y, por ende, en reducir las emisiones de la maquinaria de obra, principal elemento contaminante. En un segundo plano, la tendencia debería ser a optimizar la selección de materiales y a mejorar el manejo de los sistemas naturales, que

## *Conclusiones*

contribuyen también de forma relevante a las emisiones de GEIs del proyecto. La empresa constructora es el agente que debería liderar estos esfuerzos de reducción de emisiones, como responsable en la toma de decisiones de los principales aspectos señalados.

Los escenarios propuestos han ilustrado opciones viables para una reducción notable en las emisiones del proyecto (como el uso de materiales reciclados, de biocombustibles, de mezclas bituminosas frías o templadas, la iluminación con lámparas LED...), así como el menor recorrido que tendrían otras actuaciones (optimización del transporte, mejoras en la tecnología de la maquinaria, sustitución de los firmes presentes por pavimento de hormigón...). Existe un margen de mejora amplio en la etapa de construcción de los proyectos, y este es mucho mayor aún en la etapa de mantenimiento, aunque esta etapa debe ser estudiada con mayor detalle para establecer conclusiones sólidas.

Se considera conveniente, paralelamente a la mejora la información de base, someter al modelo a un análisis de sensibilidad optimizado. De esta manera se podrá determinar, de un modo más sistemático, la contribución de los principales factores a la varianza de los resultados, así como valorar adecuadamente el efecto de los supuestos y simplificaciones necesariamente asumidos en el modelo. Esto, complementado con el estudio de la incertidumbre constitutiva de los parámetros correspondientes, permitirá establecer la incertidumbre de los resultados proporcionados por la herramienta.

Durante la realización de la investigación se han detectado posibles líneas de investigación futuras. Una de ellas se enmarca en la asignación de responsabilidad de las emisiones. Durante la realización del trabajo se ha creado otro marco de asignación innovador, basado en la aplicación de las mejores tecnologías disponibles (MTD) como referencia en la asignación de responsabilidades. Este protocolo, que busca reducir las emisiones allá donde es técnicamente posible, ha sido evaluado en uno de los proyectos, demostrando las posibilidades que puede tener su desarrollo futuro. Se cree necesario profundizar en la inclusión del impacto sobre sistemas naturales en los ACV de carretera, completando la información sobre determinados compartimentos como el suelo, en los que la calidad de los datos es mejorable. Además, se ha iniciado el trabajo en aspectos metodológicos como el tratamiento de emisiones ligadas al cambio de uso del territorio, o las

implicaciones de la actual metodología del  $GWP_{100}$  en la evaluación de productos con una vida útil dilatada en el tiempo. Todas estas cuestiones, que están presentes en el debate científico actual, se han querido reflejar en el presente trabajo, ilustrando su impacto sobre los proyectos objeto de estudio.

En definitiva, en el presente trabajo se han sentado las bases para la evaluación holística de las emisiones de gases de efecto invernadero en proyectos de construcción de infraestructuras. Se ha señalado, mediante su aplicación a cuatro proyectos completos y diferentes escenarios alternativos, la magnitud del problema y los principales componentes involucrados. Además, se han abierto nuevos campos de investigación aplicada, como la inclusión de los impactos sobre sistemas naturales o la determinación de la responsabilidad de las emisiones en este sector, aportando una herramienta funcional para el desarrollo de futuras investigaciones.

## **10 Resumen en inglés**

### **10.1 Introduction**

Currently anthropogenic global warming is considered a first degree environmental challenge (United Nations, 1998). In order to face this problem, knowledge of the dimension of greenhouse gases (GHG) emissions related to human activities is necessary. The implementation of a control and the quantification of these emissions are based on global scale agreements such as the Kyoto Protocol (United Nations, 1998), and come into effect through measures such as the European Emissions Trading (directive 2003/87/CE (European Union, 2003)). Promoted by this issue's growing relevance to stakeholders, many companies are also voluntarily controlling their emissions within their corporate social responsibility (CSR).

The construction sector, more precisely road construction, is one of the three main drivers of resource use in the European Union (Steger & Bleischwitz, 2011). In addition, due to its characteristics (high energy consumption; usage of resources; raw material and surface; generation of a high volume of waste; quantity of linked transports; and long service life), it is a sector with a big contribution to global warming (Cass & Mukherjee, 2011). This sector has a broad margin for environmental improvement (Santero et al. 2011) with particular characteristics which ensure the interest of this study. The construction sector is not included in the scope of the Directive 2003/87/EC regarding the European Union Emissions Trading System (EU ETS) –even though production of some related materials (concrete, metal, electricity...) do– since it is an industrial activity where the contamination sources are diffuse. Construction projects have a high grade of singularity, their spatial localization is dispersed and the presence of installations and equipment for the stage of construction is transitory, thus making it difficult to follow them systematically. Moreover scope definition is not simple owing to the large quantity of actors and activities which are implied, the long duration of the construction and its service life. However, the calculation of GHG emissions in these projects is becoming a primary target of civil engineering companies since it allows bringing added value to the product and it represents an instrument of environmental commitment within their CSR.

This growing interest in the topic is reflected in the number of studies published recently. In the bibliography, there are many studies on Life Cycle Analysis (LCA) and LCA based carbon footprints of road surfaces (Athena Institute, 2006; Nisbet et al., 2000; White et al., 2010), including some focused on precise phases such as the preservation and reconstruction of road surfaces (Cass & Mukherjee, 2011; Huang et al., 2009a Weiland & Muench, 2010). The first study on LCA of an entire road construction project was achieved by Strippel (2001), who is still a reference in this field. Other studies have evaluated the impact from another points of view, including interesting aspects such as extension of land use changes (Mroueh et al., 2000), decomposition and recycling of materials (Park et al., 2003), use of recycled waste as raw material (Birgisdóttir et al., 2006; Milachowski et al., 2010), impact of maintenance activities over the traffic (Huang et al., 2009b), including the traffic itself within the analysis (Huang et al., 2012; Treloar et al., 2004) and changes in radiative forcing produced by the different albedo of the road surfaces (Loijos, 2011). In Europe, we have an example of an entire project research in Greece (SUSCON, 2006). Currently, in Spain the only approach which has been made (Garraín & Vidal, 2008) solely examined the road surface structure by extrapolating data from the Ministry of Public Works and Transport. These authors have estimated approximated national emissions of the activities of road construction between 2004 and 2006; in a similar way as other input-output analysis such as the one done in China by Chang et al. (2010).

There are almost no contributions which include all life cycle stages of an entire road construction project and usually certain aspects are either not included or underestimated. For example the carbon balance associated with land use change including the destruction of environmental systems or their resetting (reforestation of slopes ...), is not contemplated by any of the existing studies except Melanta (2012). Santero et al. (2011a) also recommended including the influence of elements which vary within the place and the context of the works (mix of electricity, distance of transport...). These same authors identified (Santero et al., 2011b) other aspects like carbonation of road surfaces and concrete structures, a widely studied aspect, even in Spain (Galán et al., 2008). All this justifies the creation of a comprehensive study of emission sources in road construction projects, which assesses the contribution of every element in the adequate context. Moreover, this is the necessary starting point to evaluate emissions of road construction projects at a national level.

## **10.2 Objectives**

The primary objective of this study is to achieve a first integral approach to the GHG emissions linked directly and indirectly to road construction, using the currently available technology and information. This analysis covers the life cycle of the projects, and intends to provide a functional and operative knowledge of the involved processes that allows to:

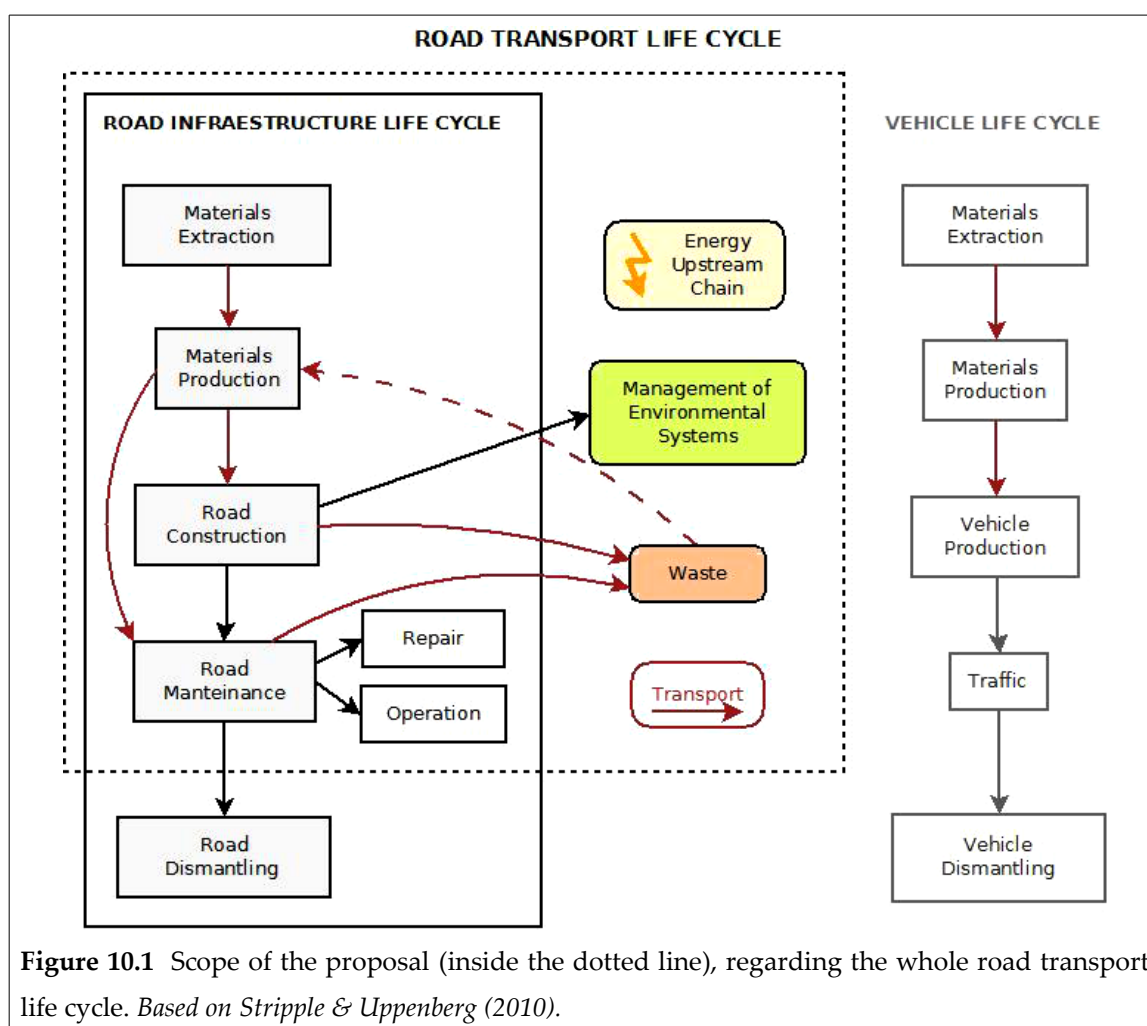
- Provide a life-cycle based environmental evaluation of road construction projects in the category of climate change.
- Identify the main elements of the system, quantifying and evaluating them in context by determining the importance of their contribution to the final balance of emissions.
- Allocate the emissions responsibility to the several agents involved in a construction project, using a trusted allocation framework for responsibility allocation.
- Compare different scenarios in project design, as well as characterize the relative scope of alternatives proposed, aiming to support the decision making process.

Regarding to the methodological approximation needed to reach these objectives, the development of a management information system is required, in order to deal with the complexity of elements, contamination phases and actors included in this analysis.

## **10.3 Scope and methodology**

The scope of the analysis corresponds primarily to the whole life cycle of the infrastructure; with the exception that road dismantling is not considered (figure 10.1). This limit results from the evidence that obsolete roads in Spain mostly remain or are reshaped, rather than being removed. The maintenance stage was contemplated, including repairing activities and operation of the road (street lights, road cleaning...), but not traffic. Operation of vehicles (traffic) is a relevant stage of LCA of Road Transport (Milachowski et al., 2010; Treloar et al., 2004), but it is not included in LCA of the infrastructure (Stripple & Uppenberg, 2010). We are not able to consider the whole life cycle of Road Transport due to the absence of a usable and accurate traffic model applicable to all the

roads. This required traffic model should be able to transfer swiftly the consequences of construction decisions to traffic dynamics.



The analysis tackles those GHG with a direct effect on Global Warming, included in the Annex A of the Kyoto Protocol: carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>), nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), sulphur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) as well as the hydrofluorocarbons (HFC) and perfluorocarbons (PFC). However, the definitive consideration of a certain gas depends on the relevance of its particular contribution to the GHG balance within each activity sector or to the total balance.

Temporary carbon storage and delayed emissions assessment in LCA are now under discussion (Brandão & Levasseur, 2011). We have chosen, in order to allow comparisons with other papers, a fixed Global Warming Potential approach, with a 100-year time horizon (GWP<sub>100</sub>), although other approaches may be more interesting for road carbon footprinting. The functional

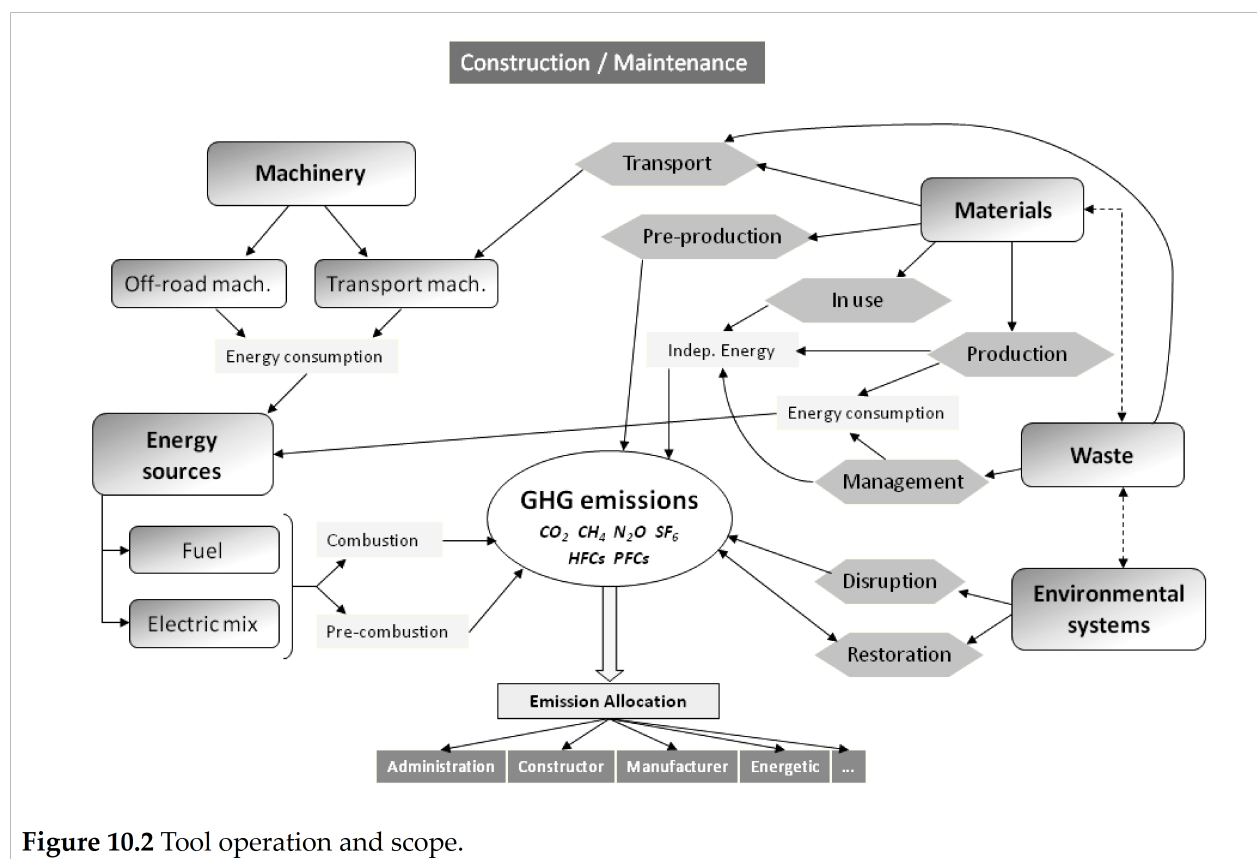


unit used will be 1 km of built road, in order to ensure result comparability. However, as Cass & Mukherjee (2011) commented, this functional unit can lead to different results, according to the context of each road (type, topography, length, etc.).

A management information system called CO<sub>2</sub>NSTRUCT has been developed beginning with an in-depth research, analysis and data gathering, creating a large data base with 80 materials, 105 construction machines, 42 energy sources, 8 electricity mixes, 80 categories of environmental systems, 10 types of waste and 21 transport vehicles used in road projects in Spain. In order to increase the accuracy of tool results, national data has been prioritized instead of European ones.

The synthetic scheme of the principal elements of the application, as well as its respective breakdown by contamination phases, is shown in figure 10.2. The established breakdown structure is motivated by a confluence of various criteria. The first one is based in the application of a holistic and exhaustive perspective to the quantification of emissions. Secondly, differentiation of component emissions is necessary in order to allow causal analysis and to improve decision-making by facilitating the design of construction alternatives.

The main activities that are sources of GHG emissions are operation of off-road machinery, performing of facilities, transportation (materials, machinery, wastes), processes of extraction and production of construction materials, processing of waste, and management of environmental systems (disruption and restoration of soils and vegetation). Energy consumption is acknowledged as the main cause of emissions underlying those activities but we have additionally analyzed other sources which could also become relevant. In each case, emission factors are defined by reference to a unit quantity of element, operating time or energy.



**Figure 10.2** Tool operation and scope.

In the case of emissions related to off-road machinery, the use of thermal and electrical sources of energy has been distinguished. For fuel-powered machinery, data on fuel consumption and emission factors of EMEP Tier 3 methodology (EEA, 2009) has been applied; this takes into account power, technology (following the European emission standards), fuel type, engine type and machine aging. Similarly, the procedure used to estimate GHG emissions in transportation was EMEP Tier 3 methodology for road transport vehicles (EEA, 2009), according to type of vehicle used, its load, trip type, distance, fuel type and vehicle ageing. Furthermore, for functional issues, a simplified GHG calculation based solely on energy consumption and emission factors of energy source has been allowed; this simple mode was also used when calculating electricity consumption. Measurements carried out within the CLEAM research project on consumption of some representative type machines, as well as information provided by the catalogs of all major brands of machinery and technical reports, were also included to widen the database. The GHG considered in this context includes  $CO_2$ ,  $CH_4$  and  $N_2O$ . Estimation of emissions related to energy consumption by facilities at the construction and maintenance stages are determined in the same way as for the case of off-road machinery.

Emission factors of construction materials used in both construction and maintenance stage in road projects were managed with a breakdown structure as follows. The first phase, called pre-production, considers emissions prior to final manufacturing (in extraction, auxiliary transportation, intermediate manufacturing, storage, etc.). The second phase called production split into emissions related to energy consumed per unit of material (electricity and fuel consumption) and energy independent emissions, called process emissions, generated by chemical reactions (such as decarbonation of limestone when obtaining cement and lime, electrolytic reduction in aluminum production, etc.). The third phase comprises processes of emission or sequestration of GHG by the materials located in their final destination of the infrastructure (as re-carbonation of cement and concrete). In this context, other GHG which can be generated in these industrial processes (as  $\text{CF}_4$ ,  $\text{C}_2\text{F}_6$  or  $\text{SF}_6$ ) are also considered, following criteria applied in national inventories of GHG emissions (IPCC, 2006). National data and information on material life cycles were favored, if available, but we relied on European references when these were lacking.

In the case of waste, we have considered the component related to energy consumption in its management, as well as process emissions (GHG emission or sequestration) generated during waste processing or after its disposal in a landfill.

Finally, as a transverse element in the database, energy sources (electrical and thermal) with their respective emission factors have been considered. Besides the emission factor corresponding to fuel combustion, we introduced a pre-combustion emission factor that embraces all upstream emissions (extraction, transportation, processing). Regarding electric mixes, we have calculated their resultant combustion and pre-combustion emission factor from the percentage combination of their sources. For this, we combined national information from combustion emission factors of fuels and alternative sources (Ministerio de Industria, 2009), as well as estimations of pre-combustion emissions (Hondo, 2000; White, 2000; Meier, 2002), using the calculation rules proposed by the national regulatory body (CNE, 2009).

Disruption of environmental systems during road construction as well as restoration and maintenance of such systems throughout the road useful life were also foreseen as important components of the  $\text{CO}_2$  balance. In order to ascertain this, corresponding land-use changes and

evolution of resultant land uses were assessed as variations of carbon sinks (estimation of emissions in LULUCF sector, IPCC (2003)). This task required making a categorization of environmental systems in Spain, in order to determine their carbon content (including vegetation and soils pools) and to estimate the carbon sequestration capacity throughout time of novel ecosystems. These tasks have been done for the following number of categories: 20 forests, 5 scrublands, 8 meadows and 25 plantings; who cover the main land uses in Spain.

The tool is based on existing measurements, items, work units and components in the project as its starting point. Therefore, it is necessary to incorporate a project budget breakdown and the activities that will take place at the construction and maintenance stages. Multiple queries are allowed to show disaggregated results by different criteria. Creation of different scenarios are allowed to permit the central decision-maker to analyze the different alternatives following GHG emission criteria.

Additionally, attribution of emissions to their responsible was detailed at the level of contamination phase. We started from the general rule of assigning combustion emissions to the owner of the facility where those are produced. This producer approach, present in most standards (BSI, 2008, WRI & WBCSD 2011b, ISO 2006b), was adapted to construction sector and modified when considering necessary according to a perspective of decision-maker responsibility. This allocation scheme was implemented in the tool CO<sub>2</sub>NSTRUCT. Finally, another new alternative approach was proposed for allocating emissions responsibility, based in the Best Available Techniques for each production step (Berzosa et al., 2012). This last approach, which needs further development, was applied to one project as a methodological scenario.

#### **10.4 Case studies and results**

The tool CO<sub>2</sub>NSTRUCT was applied to the following four highway projects in Spain to check their performance (table 10.1). The projects included as part of this case study are not intended to constitute a representative sample, although varied road typologies are presented. The main aim is to obtain an initial approach to the magnitude and range of the GHG emissions impact of Spanish road projects. These cases have been developed through working together with construction companies involved in these projects.

**Table 10.1** Main features of the analyzed projects.

	Project 1	Project 2	Project 3	Project 4
<b>Name</b>	Autovía IV Centenario	Autovía del Mediterráneo	Autopista GC-1	Carretera conexión CM-3201 y A-31
<b>Category</b>	Highway	Highway	Highway	Conventional road
<b>Length</b>	30,360 m	9,698 m	6,200 m	29,238 m
<b>Structures</b>	Four viaducts: 48, 57, 90, 210 m	Three viaducts: 152, 216 y 262 m	Three bridges: 85, 155 y 260 m	One viaduct: 435.50 m
<b>Tunnels</b>	-	-	Six tunnels between 500-1,000 m	-
<b>Design speed</b>	120-100 km/h	100 km/h	120 km/h	90 km/h
<b>Lanes</b>	4 lanes	1 <sup>st</sup> section: 4 lanes 2 <sup>nd</sup> section: 2 lanes	4 lanes	2 lanes

Moreover, the GHG emissions of the maintenance stage have been estimated in accordance with the construction companies, after several meetings which took place during the present study. Information and generic data of the periodicity of the preservation works which are foreseen and will take place in the roads under construction were obtained from them (table 10.2). Currently in construction projects, the activities which take place in the stage of maintenance are not precisely detailed, so the data we manage are estimated.

**Table 10.2** Maintenance (repair and preservation) operations considered for LCA of roads.

Operations	Frecuency
Road Cleaning	Monthly
Cleaning bushes / trees	Twice a year
Scheduled firm replenishment	Once every 9 years
Repainting of road markings	Once a year

In addition to basic maintenance operations, we have also taken road illumination into account, as well as the CO<sub>2</sub> absorption of restored environmental systems, and the carbonation of

materials found in the roads in its service life, such as concrete (which can absorb up to 3800 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> in a period of 100 years, according to Galan et al., (2009)). The considered period in the stage of maintenance has been set on 50 years.

The different results obtained are shown below disaggregated by the total emissions per project, area, element, sector and responsible for emissions.

#### 10.4.1 Total GHG emissions

Starting from data relative to these projects GHG, emissions have been estimated. The following table 10.3 shows the total emissions of the projects as well as the emissions normalized per linear km. This last column allows comparability with other results and projects since the linear km is the functional unit used by the majority of studies.

**Table 10.3** Total emissions broken down by stages and gases, and emissions per km of the analyzed projects. All values are in kg CO<sub>2</sub>e.

Project	Emissions in Construction Stage		Emissions in Maintenance Stage		Total Emissions	
	CO <sub>2</sub>	Other GHG	CO <sub>2</sub>	Other GHG	Project	per km
1	3.62E+08	2.80E+07	7.01E+07	1.40E+06	4.62E+08	1.52E+07
2	4.12E+08	3.81E+07	3.75E+07	7.60E+05	4.88E+08	5.03E+07
3	2.20E+08	1.40E+07	1.89E+07	2.19E+05	2.54E+08	4.10E+07
4	1.54E+08	1.22E+07	9.08E+07	6.49E+05	2.59E+08	8.86E+06

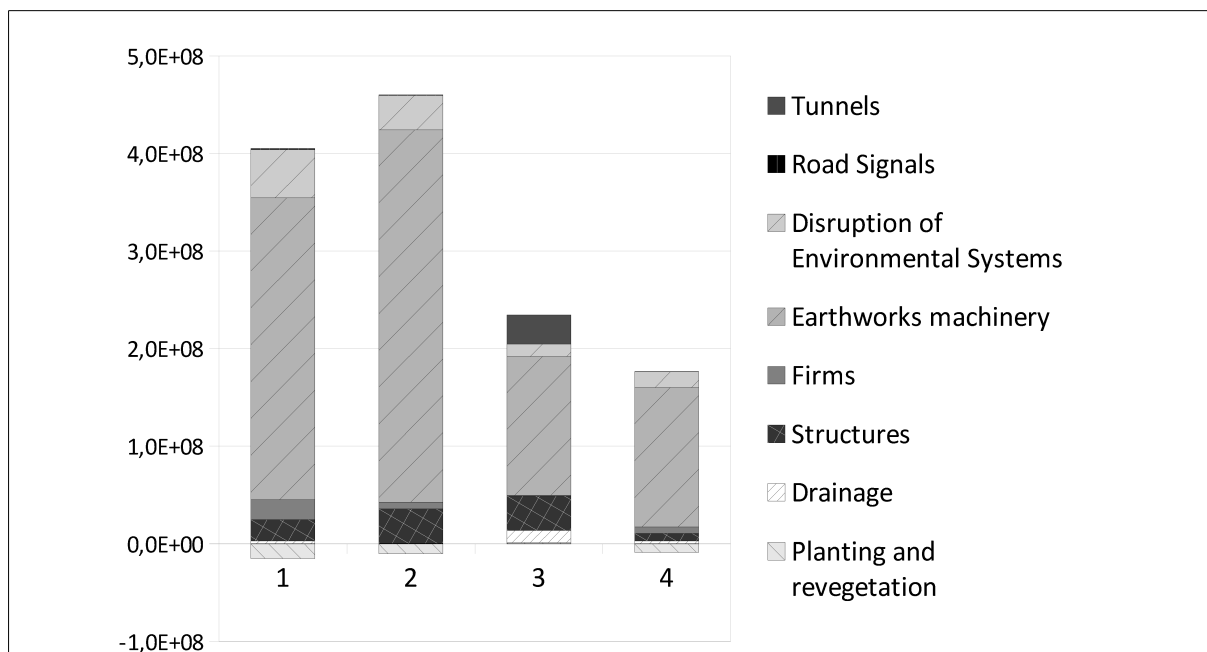
It can be noted that the contribution of other non CO<sub>2</sub> gases to the entire emissions is between 6 – 8.5% of the total emissions in construction and a 0.6 – 2% in maintenance.

Total emissions of projects 1 and 2 are higher than the other projects. Furthermore, through relativizing the results by the project length, projects 2 and 3 are much more intensive in emissions than the other two. In the first three projects (which are highways) the maintenance stage is barely between 7.6 – 9.8% of total emissions. Only in Project 4 (conventional road) the maintenance stage acquires a relevant importance (35% of the total).

Following, the construction stage is analyzed in-depth according to areas of major contribution to GHG emissions, main elements and the related sectors. The maintenance stage has not been specified due to the weak information on preservation activities we could compile, and also because this stage represents a minor percentage of total emissions.

#### 10.4.2 Most relevant areas according to their GHG emissions in construction stage

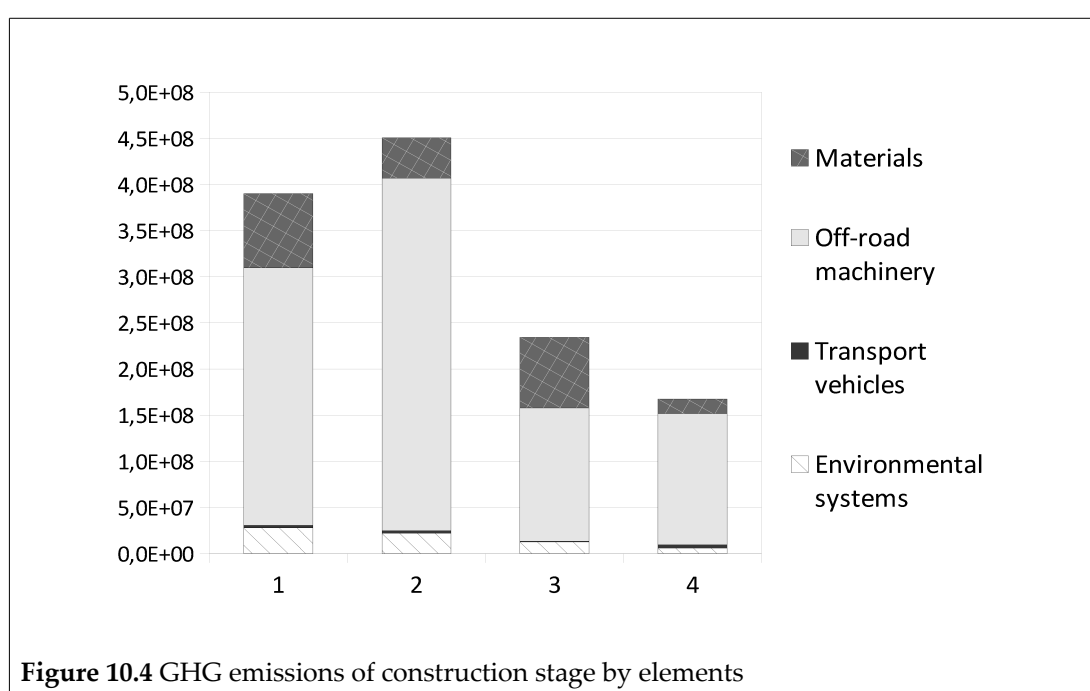
Given that the major part of GHG emissions takes place in construction stage, it is considered convenient to further analyze the results broken down for each construction area (figure 10.3). In this way, Earthworks results to be the most important area, as it includes more than 60-85% of the emissions in construction ( $1.42 \text{ E}+05 - 3.82 \text{ E}+05 \text{ tCO}_2\text{e}$ ). This area covers the extraction, supply and internal transport of earth, as well as the disruption of environmental systems (fixed carbon oxidation). Nevertheless, in order to show the relevance of the impacts on environmental system within Earthworks area, the corresponding values have been represented separately in figure 10.3 but keeping a common pattern. In a second level of importance, Structures (4.5 – 15.1%) and Pavements (1.6 – 5.3%) areas, as well as Tunnels (12.7%) in Project 3, are clearly apparent. Planting and Revegetation involves  $\text{CO}_2$  capture (negative emission values) and although it does not achieve a significant emissions amount, it is indeed important since this is the only construction area that removes atmospheric  $\text{CO}_2$ .



**Figure 10.3** GHG emissions of construction stage by areas.

### 10.4.3 Most significant elements of GHG emissions in construction stage

Figure 10.4 shows that Off-road machinery is the element with the main contribution to total emissions (61.5 – 84.9%) followed by Material related emissions (9.5 – 32.9%). Emissions associated to the management of environmental systems represent also a notable percentage (3.5 – 7.1%), moreover considering the depicted result is the net balance between emissions due to the elimination of previously existing systems (soil and biomass carbon oxidation) and the carbon contained in the novel ecosystems. Transport vehicles emissions have little relevance compared with the contribution of the remaining elements (0.4 – 2.2%).

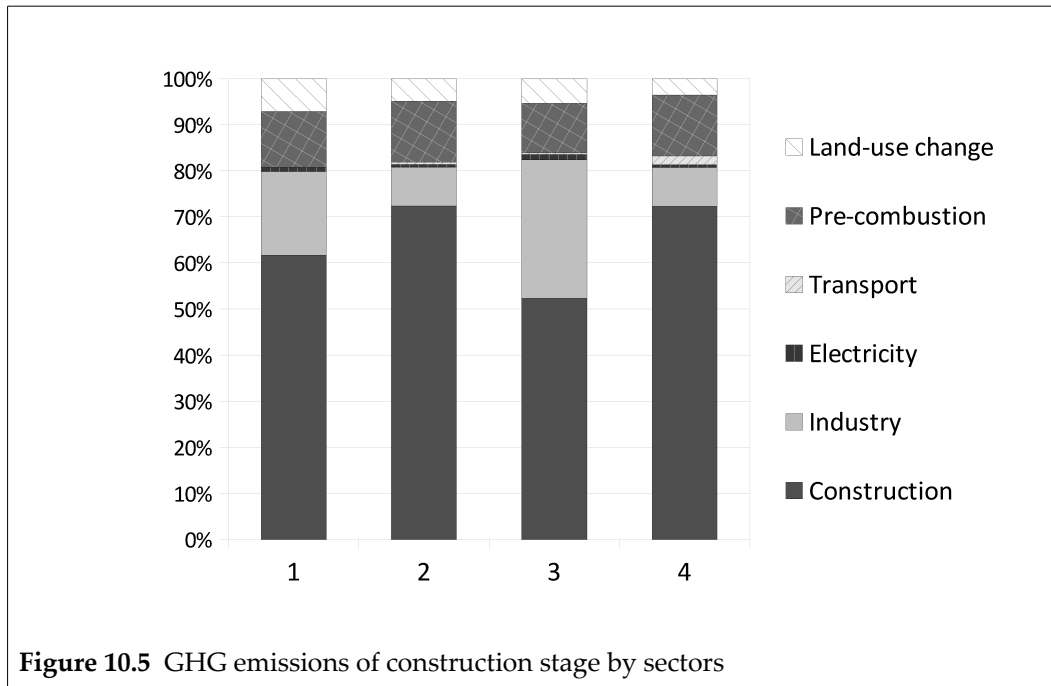


### 10.4.4 GHG emissions in construction stage according to the contribution of the involved sectors

In the following figure 10.5, the emissions are shown classified according to a series of sectors which combine the emission activity and the localization of the emissions in order to show their different origins. Emissions have been assigned considering the sectors of Transport, Industry, Construction (combustions in the placement of the project), Land-use Change and the Energy Production Sector, subdivided into Electricity (combustions in energy facilities) and Pre-combustion (both renewable and non-renewable energy). Construction is the most noteworthy sector and includes combustion emissions of off-road machinery as well as production of materials

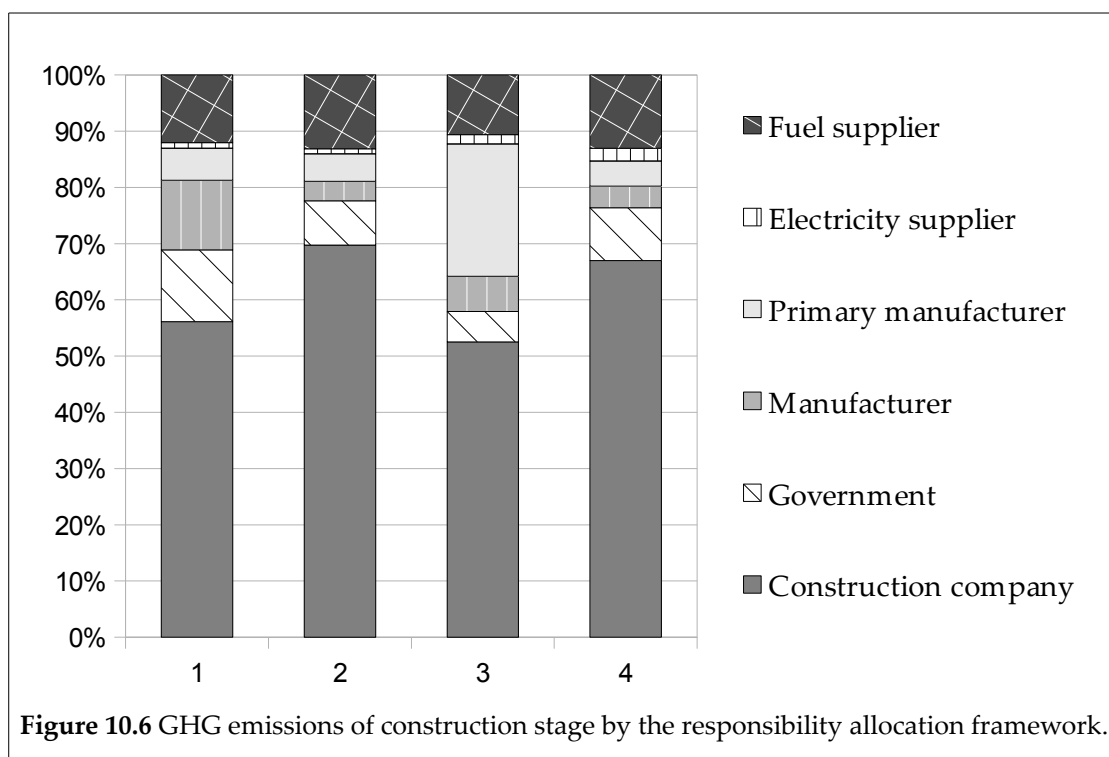


made in the construction site. Industry which comprises production and preproduction of used materials represents a secondary but important sector, especially in projects 1 and 3. Pre-combustion also involves a significant contribution that is very constant among projects. Finally, combustion of energy sources destined for electricity generation and Land-use Change imply lower contributions.



#### 10.4.5 GHG emissions in construction stage according to the responsibility allocation

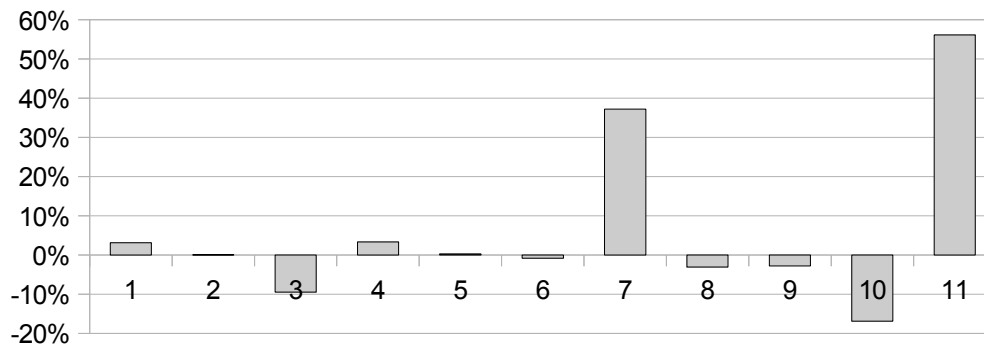
Finally, results are broken down by our responsibility allocation framework (figure 10.6). Most of emissions are assigned to the construction company (51.3 – 70%), which accounts for the activities related to Construction sector and off-road machinery. In second term, the fuel supplier (10.5 – 13.2%) appears, which gets the emissions of all fuel extraction and distribution. The Manufacturer and the primary manufacturer have a variable contribution, between 3.5 and 23.6%. The Government role is also remarkable in projects like P1 (12.7%), where a big disruption of environmental systems is made. Finally, electric supplier has a little role in every project emissions.



#### 10.4.6 Scenarios

Thirteen scenarios were proposed, in order to test the importance of different actions over the main elements of a road project. These alternatives were implemented on project 1, Autovía IV Centenario. The base case was compared in each scenario with the following alternatives: 5-year old machinery (1); machinery with the best available technology (2); machinery using biodiesel B-20 and streetlights with LED (3); imported materials (4); national materials (purchased 800 km away) (5); 100% renewable electric mix used in material production (6); concrete pavement (7); Cold Mix Asphalt pavement (8); recycled and reused materials (9); and two combined scenarios: one for the best feasible scenario (10) and another for the worst one (11). Results are shown in figure 10.7.

Material scenarios (number 4 to 9) have a greater variation in general than machinery ones (1 to 3). Biodiesel use (3), cold-mix asphalt pavement and recycled and reused materials (9) suppose the higher reductions, while concrete asphalt (7), imported materials (4) and old machinery (1) scenarios are more pollutant options than the base case. The best feasible scenario involves a reduction of 17% in construction stage and 127% in maintenance stage, whereas the worst scenario increases base case emission in 56% for construction stage and 9% for maintenance stage.



**Figure 10.7** Variation between the different scenario proposed and the base case, in the construction stage, in %.

Two more methodological scenarios were proposed, one of them testing Best Allowable Techniques (BAT) responsibility allocation scheme and the other applying an alternative GWP metrics -called TAWP, proposed by Kendall (2012)- in order to assess delayed emissions in a different way. The BAT approach allocates most of the emissions to Government (83% in construction stage), who is the consumer of the road. The TAWP scenario revealed a 25% reduction in maintenance stage emissions comparing with standard GWP metrics but no differences were found in construction stage.

**10.5 Discussion**

The versatility of the tool providing emission results detailed by stages, areas, elements, and sectors permits to analyze these projects from different points of view, helping in the decision-making process.

The following table 10.4 shows the GHG emissions per linear km of the previously commented studies and our study, contextualized according to their respective scope. As reflected in table 10.4, the scope of the previous studies is very heterogeneous, for which it is quite difficult to establish direct comparisons to our results. As can be seen, there is not any study which considers all upstream and downstream stages of a road, analyzing all GHG and taking into account land use and land-use change and emissions or captures of CO<sub>2</sub> (in our case mainly carbonation) of the already installed materials. Moreover, it should be stressed that bare final results cannot be properly understood without considering the scope established by researchers.

This contextualization is required to comprehend part of the existent results variability between studies.

One of the strengths of our study is the CO<sub>2</sub>NSTRUCT tool, whose data base has a fundamental geographic coherence (85% of the items on national level). Moreover, the emission calculations of the 126 machinery models are done according to Tier 3, the most exact of the EMEP standard, only used by Huang et al. (2009a). Another strong point of the tool is the insertion of real and tangible construction projects, it assures that all activities performed in a construction project are covered, a characteristic that is found only in Stripple (2001), SUSCON (2006) and Cass & Mukherjee (2011). Studies which analyze standard roads (Garraín & Vidal, 2008; Loijos, 2011; Treloar et al., 2004) are not capable of reliably valuing the emissions linked to inherent characteristics of the layout, such as the required Earthworks or land-use change.

Most of the studies do not consider aspects such as carbonation of cement and concrete (all except Loijos (2011) and Stripple (2001)), or the maintenance works (Chang et al., 2010; Garraín & Vidal, 2008; White et al., 2010, and others) which, even having a minor importance in the final results, should not be undervalued according to Santero et al. (2011b).

Comparing between road stages, the relative importance of maintenance is small, compared to construction (7.6-35.3% of the total), as other authors also identify (Mroueh et al., 2000 (3-6%); Loijos, 2011 (25-37%); Stripple, 2001). The most relevant case is Project 4, where the maintenance reaches 35.3 % of the total emissions. This project is the only one that deals with a conventional road, with lesser emissions in the construction stage than highways, as also mentioned Loijos (2011). Additionally, it is important to consider that in the maintenance stage there are some elements which absorb CO<sub>2</sub>, such as concrete structures and environmental systems. Thus, net CO<sub>2</sub> balances in this stage could vary hugely depending upon the route and the materials used in the project.

As shown in table 10.4, our values are certainly superior to other studies. This could be explained by various reasons, mainly related to the scope of the methodology. Partly it is due to the inclusion of the disruption of environmental systems, which reaches a significant contribution (between 5 and 13% of construction stage emissions); only recently this issue has been considered

**Table 10.4** Scope and results of road project studies.

Authors	Year	Life-Cycle stages						Gas species			Other aspects			Results
		Materials extraction & production	Transport	Construction	Maintenance	End of life	CO <sub>2</sub> CH <sub>4</sub> N <sub>2</sub> O	Shown as CO <sub>2eq</sub>	Others	Lifespan (years)	Land-use change	Management of environ. systems	Concrete carbonation	
		Pavement	Others	Earthworks	Roadway	Preservation	Repair							
Mueh	2000	•	•	•	•	•	•	•	•	50	•			297 – 596
Stripple	2001	•	•	•	•	•	•	•	•	40			•	2000–2500
Nisbet et al	2000	•	•	•	•	•	•	•	•	40				n/d
Park	2003	•	•	•	•	•	•	•	•	20				8940
Treloar	2004	•	•	•	•	•	•	•	•	40				1632
Athens	2006	•	•	•	•	•	•	•	•	50				490–1266
Birgisdóttir et al	2006	•	•	•	•	•	•	•	•	100				1755
NTUA	2006	•	•	•	•	•	•	•	•	50				940
Garrán & Vidal	2008	•	•	•	•	•	•	•	•	40				1320 – 3760
Huang, Bird & Bell	2009	•	•	•	•	•	•	•	•	-				284 <sup>a</sup>
Huang, Bird & Heidrich	2009	•	•	•	•	•	•	•	•	15				853 – 900
Chang et al	2010	•	•	•	•	•	•	•	•	-				n/d
White et al	2010	•	•	•	•	•	•	•	•	-				128 – 587
Weiland & Muench	2010	•	•	•	•	•	•	•	•	50				0,124 –
Milachowski et al	2011	•	•	•	•	•	•	•	•	30				2214 – 3093 <sup>b</sup>
Lojós	2011	•	•	•	•	•	•	•	•	40			•	404–6500
Cass & Mukherjee	2011	•	•	•	•	•	•	•	•	-				1956 – 3436 <sup>3c</sup>
Huang et al	2012	•	•	•	•	•	•	•	•	25				897 – 9626
Melania	2012	•	•	•	•	•	•	•	•	20			•	38785
CO2STRUCT	2013	•	•	•	•	•	•	•	•	50			•	8880 – 50300

<sup>a</sup> Note that this study do not include the Construction Stage, is a rehabilitation project.<sup>b</sup> Only counting road construction (1425 - 2821) and repair, traffic is not included in this value.<sup>c</sup> A four lane road is assumed.

in the study of Melanta et al. (2012) with a slightly greater relevance (17%). As well, Earthworks area shows lesser importance in other studies (Milachowski et al., 2011; SUSCON, 2006; Stripple, 2001) than in our results (between 60 and 85% of the total emissions). This difference could be due to the fact that Spanish orography is comparatively more complex and a higher number of embankments were needed; to the analyzed construction type (highways need a higher number of earthworks); or merely to an underestimation of this area by other authors. In Spain, Earthworks accumulate the highest percentage of road projects costs (between 20 and 40% of total road construction cost in the four cases). Other authors such as Athena Institute (2006), Garraín & Vidal (2008), Loijos (2011) or Treloar et al. (2004) do not even consider earthworks in their analysis, so their results underestimate road project emissions in this sense.

Many of the mentioned studies (Athena Institute, 2006; Nisbet et al., 2000; White et al., 2010), mainly supported by the industry, are focused directly around LCA of pavements. In these cases, the aim is to compare asphalt vs. concrete as the main components of pavements, thus marginalizing the consideration of other areas (structures, signalization and environmental systems) that owns an impact of similar magnitude as pavement according to our results. Furthermore, pavement is found to generate between 1.5 and 5% of the total emissions, so it does not seem to be a priority in the strategy of GHG reduction.

Observing the emissions by elements, we find that the one responsible for the major part of emissions is Off-road machinery. This result contrasts with other studies (Park et al., 2003; SUSCON, 2006) where the emissions associated to Materials predominate; in our work Materials is the second source of emissions. Even though it is contradicting the major part of studies, note that this result is coherent with the importance of Earthworks area in our projects. Finally, environmental systems, not considered by most studies, results to be more important than transport vehicles; this fact fully justifies their inclusion within the scope.

Analyzing by sectors, Construction has the major contribution to road project emissions, followed by Industry. Another significant sector is Pre-combustion, only analyzed separately by Weiland and Muench (2010), with similar results. Transport and Electricity emissions, also according to moderate values of distance and little use of electricity in the projects, respectively,

have a minor importance, as other authors also reflect (Cass and Mukherjee, 2011; Loijos, 2011). Land-use change sector is more significant than Transport or Electricity. For this reason and in agreement with other authors (Milà i Canals et al., 2007), we believe that it should be included in future carbon footprints of road projects.

The allocation of responsibility for emissions in road construction sector is an innovative contribution of our study. The allocation scheme adopted in CO<sub>2</sub>NSTRUCT is consistent with corporate and product acknowledged standards, like GHG Protocol or PAS 2050. Furthermore, another experimental approach, called BAT approach, was implemented in order to enhance the debate. These efforts in responsibility allocation could provide advice in the development of future normative for GHG emissions control.

Regarding the scenarios proposed in our study, the first eleven ones characterize the main alternatives of management for the construction company. The last two scenarios are made to feed the debate in some methodological aspects that are nowadays under discuss. Returning to the first scenarios, the ones dealing with machinery options are not proposed in any other studies, but they have not a relevant difference with base case. However, material scenarios are easy to found in bibliography, especially those who deal with pavements (Athena Institute, 2006; Chan, 2007; Milachowski et al., 2010; Stripple, 2001; White et al., 2010). Our results in concrete pavement scenario are similar to some of them (Chan, 2007; Stripple, 2001), but our scope, mainly in maintenance stage, is quite dissimilar to those of other studies (Athena Institute, 2006; Milachowski et al., 2010), what complicates to check our results. In summary, as shown particularly when implementing combined scenarios, there is a wide emissions margin between the base case and the multiple possible alternatives proposed.

The great variety found in our results gives an idea of the difficulty of properly characterizing GHG emissions in the road construction sector. It is necessary to broaden the number of the studied cases considerably, and additionally to establish a stratified sampling by types of layout, isolating the main variables (type of road, lanes, tunnels and other structures, topography, etc.) in order to determine the variability of the functional unit. This information, together with the national statistics regarding the annually constructed kilometers of road,

constitute the previous steps in order to estimate the contribution of this sector to the countrywide inventory of GHG emissions with certain reliability.

## **10.6 Conclusions**

This study shows a proposal for the integrated estimation of GHG emissions related to road projects, managed by an application, CO<sub>2</sub>NSTRUCT. In our calculation methodology, not only direct emissions but also indirect emissions (upstream and downstream of construction) are considered, including emissions due to land-use change. Even more, our tool can allocate emissions responsibility to the agents involved. Our results, broken down by different criteria, are putted into context. These results permit us to identify issues of greatest contribution to GHG emissions and to plan strategies for their reduction, aiding the decision making process. The tool called CO<sub>2</sub>NSTRUCT is a main contribution of this study. It allows managing the broad database and facilitates presentation of results.

In our results, emissions are higher than other studies as a consequence of a wider scope, more accurate input data or by the typology of our projects itself. The detailed analysis indicates that the efforts headed to the control and reductions of emissions have to focus on earthworks area and with improvements in off-road machinery performance. Secondly, the trend should be to optimize the selection of construction materials as well as the management of environmental systems, which has revealed itself as a relevant process with regard to GHG emissions by road projects. The construction company should lead the efforts in emissions reductions, as the major contributor. Alternatives in construction management were tested over a great variety of scenarios and they revealed that there is a relevant room for improvement in road construction.

Furthermore, during our study new research fields were identified. A new responsibility allocation framework was proposed and applied in a case. Other interest fields, such measuring land-use impacts or an alternative methodology for taking in account delayed emissions, were tested as a first approach.

For all mentioned above, the present study contributes to a first holistic evaluation of GHG emissions in road construction sector.



## Bibliografía

- Abolhasani, S., Frey, H. C., Kim, K., Rasdorf, W., Lewis, P., & Pang, S.-H. (2008). Real-World In-Use Activity, Fuel Use, and Emissions for Nonroad Construction Vehicles: A Case Study for Excavators. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 58(8), 1033–1046. doi:10.3155/1047-3289.58.8.1033
- Acosta, B. (2005). *Comportamiento de los componentes aéreo y subterráneo de pastizales en diferentes condiciones ambientales*. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid. (p. 210).
- Acosta, B., Ascanio, R., Pérez-Corona, M.E., Rescia, A.J. & Díaz-Pineda, F. (2001). Relación biomasa subterránea / aérea en pastizales mediterráneos a lo largo de un gradiente ambiental. Biodiversidad en pastos. Centro Iberoamericano de la Biodiversidad. M. B. C. e. al. Alicante, *CIBIO*: 169-174.
- Adger, W. N., Brown, K., Shiel, R. S. & Whitby, M. C. (1992). Carbon dynamics of land use in Great Britain. *Journal of Environmental Management* 36: 117-136.
- ADIF. (2012). Adif y Acciona impulsan la utilización de energías renovables en las redes ferroviarias españolas. Retrieved December 1, 2012, from <http://prensa.adif.es/ade/u08/GAP/Prensa.nsf/Vo000A/C62C38AA7B80CB44C12579790034E480?Opendocument>
- Álvarez-Díaz, P. D., Doménech-Quesada, J.L. & Perales Vargas-Machuca, J.A. (2008). Huella ecológica energética corporativa: un indicador de la sostenibilidad empresarial. *Observatorio Iberoamericano del Desarrollo Local y la Economía Social (OIDLES)* 2(No. 4 ): 20-45.
- Amorós, J. A. (2000). Adaptación de variedades blancas de vid (*Vitis vinifera*, L.) en Castilla-La Mancha. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. (p. 198).
- Aranda, V. & Oyonarte, C. (2005). Effect of vegetation with different evolution degree on soil organic matter in a semi-arid environment (Cabo de Gata-Níjar Natural Park, SE Spain). *Journal of Arid Environments* 62: 631-647.
- Anderson, L. G. (2012). Effects of Biodiesel Fuels Use on Vehicle Emissions. *Journal of Sustainable Energy & Environment*, 3, 35–47.
- Andrew, R., & Forgie, V. (2008). A three-perspective view of greenhouse gas emission responsibilities in New Zealand. *Ecological Economics*, 68(1-2), 194–204. doi:10.1016/j.ecolecon.2008.02.016

- Athena Institute. (2006). *A life cycle perspective on concrete and asphalt roadways: embodied primary energy and global warming potential* (p. 92). Ottawa.
- Baosteel. (2006). *Sustainability Report 2006*. Baoshan, China.
- Barandica, J. M. (2010). *Modelo de simulación para la evaluación de las emisiones de CO<sub>2</sub> en la fase de explotación*. Proyecto CLEAM-CENIT, Tarea 4.4: Herramienta de cálculo y análisis de las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por una infraestructura durante su fase de construcción y de explotación. Madrid, España.
- Bastianoni, S., Pulselli, F. M., & Tiezzi, E. (2004). The problem of assigning responsibility for greenhouse gas emissions. *Ecological Economics*, 49(3), 253–257. doi:10.1016/j.ecolecon.2004.01.018
- Battelle. (2002). *Toward a Sustainable Cement Industry* (p. 64). Columbus, Ohio, USA.
- Berzosa, Á. (2011). *Huella de Carbono en los Procesos de Reutilización de Equipos Informáticos: Comparativa entre Reutilización y Sustitución por Nuevo*. Universidad de Vigo.
- Berzosa, Á., Barandica, J. M., & Fernández-Sánchez, G. (2012). Approaches to allocation of responsibility in GHG emissions. A new proposal. *Proceedings of the SETAC 18 th LCA Case Study Symposium and 4th NorLCA Symposium Sustainability Assessment in the 21 st century* (p. 35). Copenhagen, Denmark.
- Birgisdóttir, H., Pihl, K. A., Bhandar, G., Hauschild, M. Z., Christensen, T. H., & Birgisdóttir, H. (2006). Environmental assessment of roads constructed with and without bottom ash from municipal solid waste incineration. *Transportation Research Part D*, 11, 358–368. doi:10.1016/j.trd.2006.07.001
- Brandão, M., & Levasseur, A. (2011). *Assessing Temporary Carbon Storage in Life Cycle Assessment and Carbon Footprinting Outcomes of an expert workshop* (p. 78). Ispra, Italia: Publications Office of the European Union. doi:10.2788/22040
- BSI. (2010). *PAS 2060:2010 Specification for the demonstration of carbon neutrality*. London, Reino Unido.
- BSI, Carbon Trust, & Defra. (2008). *PAS 2050:2008 Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services* (p. 43). London, Reino Unido.
- Cañellas, I. & San Miguel, A. (1996). Biomasa subterránea de los matorrales de *Q. coccifera* en el este de España. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 5: 189-200.

## Bibliografía

- Cañellas, I. & San Miguel, A. (2003). La coscoja (*Quercus coccifera* L.): Ecología, características y usos. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid.
- Cardim de Carvalho Filho, A. (2001). *Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento – Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Casermeyro, M.A., Caravaca, M.TC., Hernando-Costa, J., Hernando-Massanet, M.I., Molina, J.A. & Sánchez, P. (2002). El papel de los tomillares (*Thymus vulgaris* L.) en la protección de la erosión del suelo. *Anales de Biología*, 24: 81-87.
- Centeno, A. & Lissarrague, J. (2007). Relación entre la biomasa producida y el consumo hídrico a lo largo del ciclo de la vid (cv. Tempranillo) sometida a condiciones de estrés hídrico. *Actas de Horticultura* 48: 162-165.
- Chan, A. W. (2007). *Economic and Environmental Evaluations of Life-Cycle Cost Analysis Practices: A Case Study of Michigan DOT Pavement Projects*. University of Michigan.
- Chang, Y., Ries, R. J., & Wang, Y. (2010). The embodied energy and environmental emissions of construction projects in China An economic input–output LCA model. *Energy Policy*, 38(11), 6597–6603. doi:10.1016/j.enpol.2010.06.030
- Cherubini, F., Peters, G., & Berntsen, T. (2011). CO2 emissions from biomass combustion for bioenergy: atmospheric decay and contribution to global warming. *Bioenergy*, (3), 413–426. doi:10.1111/j.1757-1707.2011.01102.x
- Clauzade, C, Osset, P. Hugrel, C. Chappert, A. Durande, M. & Palluau, M. (2010). Life cycle assessment of nine recovery methods for end-of-life tyres. *Int J Life Cycle Assess* 15:883–892.
- Christensen, M., Hahn, K., Mountford, E.P., Ódor, P., Standovár, T. & Rozenbergar, D. (2005). Dead wood in European beech (*Fagus sylvatica*) forest reserves. *Forest Ecology and Management* 210: 267-282.
- CNE. (2009). *Informe sobre el Sistema De Garantía de Origen y Etiquetado de la Electricidad Años 2007 y 2008* (p. 46). Madrid, España.

- CNE. (2010). *Informe sobre el sistema de Garantía de Origen y Etiquetado de la electricidad Año 2009* (p. 26). Madrid, España.
- Comisión de la Unión Europea. (2008). Propuesta de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE para perfeccionar y ampliar el Régimen Comunitario de Comercio de Derechos de Emisión de gases de efecto invernadero. Bruselas: Parlamento Europeo.
- Corti, A. & Lombardi, L. (2004). End life tyres: Alternative final disposal processes compared by LCA. *Energy* 29: 2089–2108.
- Davis, S. J., & Caldeira, K. (2010). Consumption-based accounting of CO<sub>2</sub> emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(12), 5687–92. doi:10.1073/pnas.0906974107
- De la Riva, E.G., Casado, M.A., Jiménez, M.D., Mola, I., Costa-Tenorio, M. & Balaguer, L. (2011). Rates of local colonization and extinction reveal different plant community assembly mechanisms on road verges in central Spain. *Journal of Vegetation Science* 22, 292–302.
- Ecoinvent. (2007). EcoSpold Data Format. Retrieved December 1, 2010, from <http://www.ecoinvent.org/database/ecospold-data-format/>
- EIFFAGE Infraestructuras. (2009). *Proyecto Mediambiental de I+D+I: Mezclas Templadas para la Construcción de Firms de Carreteras* (p. 13). Sevilla, España.
- EIPPC. (2012). The European IPPC Bureau. Retrieved December 1, 2012, from <http://eippcb.jrc.es/>
- Environmental Life-Cycle Inventories of Energy Systems. (1994). Bundesamt für Energiewirtschaft, Sauter P. Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Switzerland.
- EPD. (2010). *Environmental product declaration Terbond R*. Grupo Freudenberg Politex. Novedrate, Italia.
- España. (1988). Ley 25/1988, de 29 de julio, de Carreteras. *Boletín Oficial del Estado* 182, 23514–23524.
- España. (1997). Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico. *Boletín Oficial del Estado* 285, 35097-35126.
- España. (2005). Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero. *Boletín Oficial del Estado*, 59, 8405-8420.

## Bibliografía

- España. (2006). Real Decreto 1370/2006, de 24 de noviembre, por el que se aprueba el Plan Nacional de Asignación de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, 2008-2012. *Boletín Oficial del Estado*, 282, 41320–41440.
- EUPAVE, Oficemen & IECA. (2010). *Pavimentos de Hormigon, una alternativa inteligente y sostenible*. Bélgica (traducción IECA).
- European Federation of Concrete Admixture Associations. (2006a). *EFCA environmental declaration plasticising admixtures – March 2006*. EFCA doc 324 ETG
- European Federation of Concrete Admixture Associations. (2006b). *EFCA environmental declaration superplasticising admixtures – March 2006*. EFCA doc 325 ETG
- European Federation of Concrete Admixture Associations. (2006c). *EFCA environmental declaration retarding admixtures – December 2005*. EFCA doc 302 ETG
- European Federation of Concrete Admixture Associations. (2006d). *EFCA environmental declaration accelerating admixtures – December 2005*. EFCA doc 300 ETG
- European Federation of Concrete Admixture Associations. (2006e). *EFCA environmental declaration air entraining admixtures – December 2005*. EFCA doc 301 ETG
- European Federation of Concrete Admixture Associations. (2006f). *EFCA environmental declaration waterproofing admixtures – December 2005*. EFCA doc 303 ETG
- Ferng, J.-J. (2003). Allocating the responsibility of CO<sub>2</sub> over-emissions from the perspectives of benefit principle and ecological deficit. *Ecological Economics*, 46(1), 121–141. doi:10.1016/S0921-8009(03)00104-6
- Fernández, G., Rodríguez, F., Acosta, F. J., Delgado, J. A., Berzosa, Á., & Barandica, J. M. (2010). Emisiones de CO<sub>2</sub>eq como indicador de sostenibilidad en infraestructuras lineales. *XIV INTERNATIONAL CONGRESS ON PROJECT ENGINEERING* (pp. 1372–1383). Madrid.
- Ferrán, A., Trabaud, L., Vallejo, R. & Delitti, W. (2005). Effects of fire recurrence in *Quercus coccifera* L. shrublands of the Valencia Region (Spain) II. Plant and soil nutrients. *Plant Ecology* 177, 71-83.

- Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinee, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., et al. (2009). Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 1–21. doi:10.1016/j.jenvman.2009.06.018
- Frey, H. C., Kim, K., Pang, S.-H., Rasdorf, W. J., & Lewis, P. (2008). Characterization of Real-World Activity, Fuel Use, and Emissions for Selected Motor Graders Fueled with Petroleum Diesel and B20 Biodiesel. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 58(10), 1274–1287. doi:10.3155/1047-3289.58.10.1274
- Gallego, B., & Lenzen, M. (2005). A Consistent Input – Output Formulation of Shared Producer and Consumer Responsibility. *Economic Systems Research*, 17(4), 365–391.
- Galán, I., Andrade, C., Prieto, M., Mora, P., López, J. C., & San Juan, M. Á. (2008). *Estudio del Efecto Sumidero de CO2 de los Materiales de Base Cemento* (p. 130). Madrid, España.
- Garraín, D., & Vidal, R. (2008). Contaminación atmosférica de las carreteras españolas. *DYNA*, 83(3), 177–182.
- GHG Protocol. 2012. Third Party Databases. Available from: <http://www.ghgprotocol.org/Third-Party-Databases>
- Heath, L.S., Birdsey, R.A. & Williams, D.W. (2002). Methodology for estimating soil carbon for the forest carbon budget model of the United States, 2001. *Environmental Pollution* (116), 373-380.
- Hernando-Costa, J. Hernando-Massanet, I. & Ares Mateos, A. (2002). Formaciones edáficas del tramo alto de la cuenca del río Rianza. *Observatorio Medioambiental* 5, 149-162.
- Hobbs, R.J., Arico S., Aronson, J., Baron, J.S., Cramer, V.A., Epstein, P.R., Ewel, J.J., Klink, C.A., Lugo, A.E., Norton, D., Ojima, D., Richardson, D.M., Sanderson, E.W., Valladares, F., Vilà, M., Zamora, R. & Zobel, M. (2006). Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order. *Global ecology and Biogeography* 15:1–7.
- Hondo, H. (2000). *Finding life cycle CO2 emissions by power generation type*, Central Research Institute of Electric Power Industry, Japan.
- Horvath, A. (2004). *A Life-Cycle Analysis Model and Decision-Support Tool for Selecting Recycled Versus Virgin Materials for Highway Applications* (pp. 1–35). Durham, New Hampshire, EEUU.

## **Bibliografía**

- Huang, Y., Bird, R., & Bell, M. (2009a). A comparative study of the emissions by road maintenance works and the disrupted traffic using life cycle assessment and micro-simulation. *Transportation Research Part D*, 14(3), 197–204.
- Huang Y., Bird R. & Heidrich O. (2009b). Development of a life cycle assessment tool for construction and maintenance of asphalt pavements. *Journal of Cleaner Production* 17:283–296.
- I 68. (2010). *Proyecto CLEAM-CENIT, Tarea 4.5 Herramienta de cálculo de los consumos energéticos intrínsecos a la construcción de una infraestructura lineal (CIVICAR)*. Madrid, España.
- IAI. (2010). World Primary Aluminium Production at 22 November 2010. Retrieved November 24, 2010, from [https://stats.world-aluminium.org/iai/stats\\_new/formServer.asp?form=1](https://stats.world-aluminium.org/iai/stats_new/formServer.asp?form=1)
- IEA. (2009a). Electricity/Heat in People's Republic of China in 2008. Retrieved April 24, 2011, from [http://www.iea.org/stats/electricitydata.asp?COUNTRY\\_CODE=CN](http://www.iea.org/stats/electricitydata.asp?COUNTRY_CODE=CN)
- IEA. (2009b). *CO2 Emissions From Fuel Combustion Highlights* (p. 124). Paris, Francia.
- IEA. (2009c). Electricity/Heat in France in 2008. Retrieved November 24, 2010, from [http://www.iea.org/stats/electricitydata.asp?COUNTRY\\_CODE=FR](http://www.iea.org/stats/electricitydata.asp?COUNTRY_CODE=FR)
- IFEU Heidelberg, Öko-Institut, & IVE/RMCON. (2010). *Ecological Transport Information Tool for Worldwide Transports Methodology and Data* (p. 104). Berlín - Hannover - Heidelberg.
- IFIAS. (1978). Energy Analysis and Economics. *Resources and Energy*, 1, 151–204.
- IHOBE. (2010). *Guías sectoriales de ecodiseño Materiales de construcción* (1<sup>o</sup> ed., p. 313). Bilbao, España.
- INE. (2012). Red de carreteras por competencia, tipo de vía y periodo. *INEbase*. Retrieved January 24, 2012, from [www.ine.es](http://www.ine.es)
- Ingaramo, O., Paz, A. & Dugo, M. (2003). *Evaluación de la densidad aparente en diferentes sistemas de laboreos de suelo, en el noroeste de la Península Ibérica*. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste. Resumen A-032. El Chaco – Corrientes. República Argentina.
- IPCC. (1990). *Resumen General del Primer Informe de Evaluación del IPCC* (pp. 57–70). Ginebra, Suiza.

- IPCC. (2003). *Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas para UTCUTS* (p. 628).
- IPCC. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del IPCC* (p. 104). Ginebra, Suiza.
- ISO. (2006a). ISO 14040:2006 Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia.
- ISO. (2006b). ISO 14064:2006 Gases de efecto invernadero (p. 29).
- IteC. (2010). Base de datos Banco BEDEC. Datos sobre residuos y unidades de obra.
- Jim, C.Y. (1998). Physical and chemical properties of a Hong Kong roadside soil in relation to urban tree growth. *Urban Ecosystems* 2, 171–181.
- Kendall, A. (2011). TAWP v1.0. University of California. Davis, CA.
- Kendall, A. (2012). Time-adjusted global warming potentials for LCA and carbon footprints. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1042–1049. doi:10.1007/s11367-012-0436-5
- Kendall, A., Harvey, J., & Lee, I.-S. (2009). A critical review of life cycle assessment practice for infrastructure materials. *Proceedings of US-Japan Workshop on Life Cycle Assessment of Sustainable Infrastructure Materials* (pp. 1–8). Sapporo, Japan.
- Kim, D.G. (2008). Can South Korea's canal project reduce greenhouse-gas emissions? *Frontiers in Ecology and the Environment* 6 (7): 355-355.
- Kittelson, D. B., Watts, W. F., Johnson, J. P., Remerowki, M. L., Ische, E. E., Oberdöster, G., Gelein, R. M., Elder, A., Hopke, P. K., Kim, E., Zhao, W., Zhou, L. & Jeong, C.-H. (2004). On-road exposure to highway aerosols. 1. Aerosol and gas measurements. *Inhalation Toxicology* 16: 31–39.
- Krankina, O.N. & Harmon M.E. (1995). Dynamics of the dead wood carbon pool in Northwestern Russian boreal forests. *Water, Air and Soil Pollution* 82: 227-238.
- Lenzen, M., Murray, J., Sack, F., & Wiedmann, T. (2007). Shared producer and consumer responsibility — Theory and practice. *Ecological Economics*, 61(1), 27–42. doi:10.1016/j.ecolecon.2006.05.018



## **Bibliografía**

- Leroy, C. (2009). Provision of LCI data in the European aluminium industry Methods and examples. *Int J Life Cycle Assess* 14 (Suppl 1): S10–S44.
- Loijos, A. (2011). *Life Cycle Assessment of Concrete Pavements: Impacts and Opportunities*. Master Tesis. Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology.
- Mariscal, I. (2008). Recuperación de la calidad de Ultisoles mediterráneos degradados, mediante la aplicación de enmiendas y formas alternativas de uso. Tesis doctoral, Departamento de Edafología, Universidad Politécnica de Madrid. (p.316).
- MARM. (2008). *Anuario de Estadística Agroalimentaria y Pesquera 2007*. Madrid, España.
- MARM. (2009a). Resolución de 20 de enero de 2009, de la Secretaría de Estado de Cambio Climático, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros por el que se aprueba el Plan Nacional Integrado de Residuos para el período 2008- 2015. *Boletín Oficial del Estado*, 49, 19893–20016.
- MARM (Ed.). (2009b). Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de España - 2000-2010. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Retrieved from <http://sig.marm.es/siga/>
- MARM. (2011). *Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de España Años 1990-2009* (p. 706). Madrid, España.
- Márquez, M., Núñez, E. & Escudero J.C. (1989). Dinámica del nitrógeno en un gradiente de edad de *Cistus ladanifer*. L. *Options Méditerranéennes - Série Séminaires* 3: 151-155.
- Matthews, H. S., Hendrickson, C. T., & Weber, C. L. (2008). The importance of carbon footprint estimation boundaries. *Environmental science & technology*, 42(16), 5839–42.
- Mattila, T., Helin, T., Antikainen, R., Soimakallio, S., Pingoud, K., & Wessman, H. (2011). *Land use in life cycle assessment*. *Environment* (p. 89). Helsinki, Finland: Finnish Environment Institute.
- Meier, P. (2002). *Life-cycle assessment of electricity generation systems and applications for climate change policy analysis*. Tesis doctoral, University of Wisconsin, Madison.
- Meil, J.K. (2000). *Summary Report: A life cycle analysis of canadian softwood lumber production*. Athena Sustainable Materials Institute, Ottawa.

- Melanta, S. (2010). *A tool for quantifying the carbon footprint of construction projects in the transportation sector*. Tesis doctoral, University of Maryland.
- Milachowski, C., Stengel, T., & Gehlen, C. (2010). *Life Cycle Assessment For Road Construction and Use* (p. 20). München, Alemania: European Concrete Paving Association.
- Ministerio de Fomento Orden FOM/3460/2003, de 28 de noviembre, por la que se aprueba la norma 6.1 IC Secciones de firme, de la Instrucción de Carreteras (2003). *Boletín Oficial del Estado*.
- Ministerio De Fomento. (2010). *Atlas estadístico de la construcción en España. Año 2008* (p. 152). Madrid, España.
- Ministerio de Industria Turismo y Comercio. (2010). Real Decreto 1088/2010, de 3 de septiembre, por el que se modifica el Real Decreto 61/2006, de 31 de enero, en lo relativo a las especificaciones técnicas de gasolinas, gasóleos, utilización de biocarburantes y contenido de azufre de los combustibles para. *Boletín Oficial del Estado*, 215, 76436–76445.
- MITYC. (2007). Orden ITC/1522/2007, de 24 de mayo, por la que se establece la regulación de la garantía del origen de la electricidad procedente de fuentes de energía renovables y de cogeneración de alta eficiencia." *Boletín Oficial del Estado* 131: 23892 - 23896.
- MITYC. (2008). Circular 1/2008, de 7 de febrero, de la Comisión Nacional de Energía, de información al consumidor sobre el origen de la electricidad consumida y su impacto sobre el medio ambiente. *Boletín Oficial del Estado*, 45, 9919–9928.
- MITYC. (2010). *La energía en España 2009* (1º ed., p. 329). Madrid, España: Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, MITYC.
- MMA (Ed.). (1998). *Segundo Inventario Forestal Nacional 1986-1996*. Madrid, España: Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Medio Ambiente.
- Mola, I., Jiménez, M. D., López-Jiménez, N., Casado, M. A. & Balaguer, L. (2009). Roadside reclamation outside the revegetation season: Management options under schedule pressure. *Restoration Ecology* 19:83-92.

## **Bibliografía**

- Montoya, R. & López-Arias, M. (1997). *La red europea de seguimiento de daños en los bosques (Nivel I) España, 1987-1996*. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- Mroueh, U.-M., Eskola, P., Laine-Ylijoki, J., Wellman, K., Mäkelä, E., Juvankoski, M., & Ruotoistenmäki, A. (2000). *Life cycle assessment of road construction. Analysis* (p. 65). Helsinki.
- Müller-Wenk R & Brandão M. (2010). Climatic impact of land use in LCA—carbon transfers between vegetation/soil and air. *Int J Life Cycle Assess* 15:172–182.
- Muñoz-Rojas, M., De la Rosa, D., Zavala, L.M., Jordán, A., Anaya-Romero, M. (2011). Changes in land cover and vegetation carbon stocks in Andalusia, Southern Spain (1956–2007). *Science of the Total Environment* 409: 2796–2806.
- Naciones Unidas. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (Vol. 61702, p. 27). New York.
- Naciones Unidas. (1998). *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (Vol. 61702, p. 25). Kioto, Japón.
- National Renewable Energy Laboratory. (2011). U.S. Life Cycle Inventory Database. Retrieved December 1, 2011, from <https://www.lcacommons.gov/nrel/search>
- Navarro, R. M. (2004). Fitomasa aérea en lo ecosistemas de matorral en el monte Can Villalonga (T.M. de Cassà de la Selva, Girona). *Ecología* 18: 99-112.
- Nisbet, M., VanGeem, M. G., Gajda, J., & Marceau, M. (2000). *Environmental Life Cycle Inventory of Portland Cement Concrete* (p. 61). Skokie, Illinois, USA.
- Nisbet M. A., Marceau M. L. ,VanGeem M. G. & Gajda J. *Environmental life cycle inventory of Portland cement concrete and asphalt concrete pavements*. Skokie, IL: Portland Cement Association. PCA R&D Serial No. 2489; 2001.
- Northern Ireland Assembly. (2009). *Energy Efficiency in Street Lighting* (p. 13). Belfast, United Kingdom.
- NTUA. (2006). *Sustainable Construction in Public and Private Works through IPP approach (SUSCON)* (pp. 1–28).

- Oechel, W. C. & Reid, C.D. (1984). Photosynthesis and biomass of chaparral shrubs along a fire-induced age gradient in Southern California. *Boll Soc. Bot. Fr. Act. Bot.* 131: 399-409.
- OFICEMEN. (2008). *Memoria anual 2008* (p. 53). Madrid, España.
- Ortiz, O., Castells, F., & Sonnemann, G. (2009). Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. *Construction and Building Materials*, 23(1), 28–39. doi:10.1016/j.conbuildmat.2007.11.012
- Ostle, N. J., Levy, P.E., Evans, C.D. & Smith, P. (2009). UK land use and soil carbon sequestration. *Land Use Policy* 26S: S274–S283.
- Page, E. (2008). Distributing the burdens of climate change. *Environmental Politics*, (June 2012), 37–41. doi:10.1080/09644010802193419
- Pampolino, M.F. Laureles, E.V., Gines, H.C. & Buresh R.J. (2008). Soil Carbon and Nitrogen Changes in Long-Term Continuous Lowland Rice Cropping. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72, 798-807.
- Pang, S.-H. (2007). *Life Cycle Inventory Incorporating Fuel Cycle and Real-World In-Use Measurement Data for Construction Equipment and Vehicles*. North Carolina State University.
- Park, K., Hwang, Y., Seo, S., & Seo, H. (2003). Quantitative Assessment of Environmental Impacts on Life Cycle of Highways. *Journal of construction engineering and management*, 129, 25–31.
- Peters, G. P. (2008). From production-based to consumption-based national emission inventories. *Ecological Economics*, 65(1), 13–23. doi:10.1016/j.ecolecon.2007.10.014
- Peters, G. P., & Hertwich, E. G. (2008). Post-Kyoto greenhouse gas inventories: production versus consumption. *Climatic Change*, 86(1-2), 51–66. doi:10.1007/s10584-007-9280-1
- PricewaterhouseCoopers (2006). *JUTE ECOLABEL Life Cycle Assessment of Jute Products*. Kolkata, India.
- Puigdefábregas, J., Solé-Benet, A., Gutiérrez Carretero, L., del Barrio, G. & Boer, M. (1999). Scales and processes of water and sediment redistribution in drylands: results from the Rambla Honda field site in Southeast Spain. *Earth-Science Reviews* (48), 39-70.

## Bibliografía

- Raadal, H. L. (2012). Application of voluntarily purchased electricity products in Carbon footprints (CFP). *SETAC 18 th LCA Case Study Symposium 4 th NorLCA Symposium Sustainability Assessment in the 21 st century Tools, Trends & Applications* (p. 212). Copenhagen, Denmark.
- Red Eléctrica de España. (2010). El sistema eléctrico español en el 2009. (Red Eléctrica de España, editor.). Madrid, España.
- Reicosky, D. C. & Archer, D.W. (2007). Moldboard plow tillage depth and short-term carbon dioxide release. *Soil Till Res* 94: 109-121.
- Rodrigues, J., Domingos, T., Giljum, S., & Schneider, F. (2006). Designing an indicator of environmental responsibility. *Ecological Economics*, 59, 256–266.
- Rodríguez, J. A., Rodríguez, A. J., Sotelo, A., Monge, G. & de la Rosa, D. (2008). *Sistema de Inferencia Espacial de Propiedades Físico-Químicas e Hidráulicas de los Suelos de Andalucía. Herramienta de Apoyo a la Simulación de Procesos Agro-Hidrológicos a Escala Regional*. Empresa Pública Desarrollo Agrario y Pesquero. Consejería de Agricultura y Pesca, Sevilla. (p. 74).
- Romanyà, J., Rovira, P. & Vallejo, R. (2007). Análisis del carbono en los suelos agrícolas de España. Aspectos relevantes en relación a la reconversión a la agricultura ecológica en el ámbito mediterráneo. *Ecosistemas* 16 (1): 50-57.
- Rozycki, C. V., Koeser, H. and Schwarz, H. (2003). Ecology Profile of the German High-speed Rail Passenger Transport System, ICE. *Int J Life Cycle Assess* 8(2): 83 – 91.
- Sánchez-Girón, V., Serrano, A., Hernanz, J. L. & Navarrete, L. (2004). Economic assessment of three long-term tillage systems for rainfed cereal and legume production in semiarid central Spain. *Soil Till. Res.* 78: 35-44.
- Santero, N. J., Masanet, E., & Horvath, A. (2011a). Life-cycle assessment of pavements. Part I: Critical review. *Resources, Conservation & Recycling*, 55(9-10), 801–809. doi:10.1016/j.resconrec.2011.03.009
- Santero, N. J., Masanet, E., & Horvath, A. (2011b). Life-cycle assessment of pavements Part II: Filling the research gaps. *Resources, Conservation & Recycling*, 55(9-10), 810–818. doi:10.1016/j.resconrec.2011.03.009

- Schuurmans, A., Fluitman, A., Spiertz, P., Broers, J., Schweitzer, G., & Duijsens, J. (2002). *DuboCalc: LCA tool for design of constructions in the ground, road and waterworks sector* (p. 4).
- Sebastià, M. T. (2007). Plant guilds drive biomass response to global warming and water availability in subalpine grassland. *Journal of Applied Ecology* 44: 158-167.
- SENDECO2. (2012). Sistema Electrónico de Negociación de Derechos de Emisión de Dióxido de Carbono. Retrieved December 1, 2012, from <http://sendeco2.com/>
- Siegenthaler, U., & Sarmiento, J. L. (1993). Atmospheric carbon dioxide and the ocean. *Nature*, 365, 119–125.
- Sjunnesson, J. (2005). Life Cycle Assessment of Concrete. Master thesis, Lund University, Department of Technology and Society. Lund, Sweden.
- Soto, B. & Díaz-Fierros, F. (1997). Soil water balance as affected by throughfall in gorse (*Ulex europaeus*, L.) shrubland after burning. *Journal of Hydrology* 195: 218-231.
- Spadaro, J., V., Langlois, L., Hamilton B., (2000). *Greenhouse gas emissions of electricity generation chains. Assessing the difference*. IAEA Bulletin, 42/2/2000.
- Steger S, Bleischwitz R. (2011). Drivers for the use of materials across countries. *Journal of Cleaner Production* 19: 816–826.
- Strippel, H. (2001). *Life Cycle Assessment of Road A Pilot Study for Inventory Analysis* (p. 182). Gothenbourg, Sweden. doi:10.1177/0734242X10379146
- Strippel H. & Uppenberg S. (2010). *Life cycle assessment of railways and rail transports - Application in environmental product declarations (EPDs) for the Bothnia Line*. (p.190). IVL. Göteborg, Sweden
- Szary, P. J., Maher, A., Strizki, M., & Moini, N. (2005). *Use of LED or Other New Technology to Replace Standard Overhead and Sign Lighting (Mercury and/or Sodium)* (p. 128). New Jersey, USA.
- Terradas, J. (2001). “Ecología de la vegetación”. Barcelona, Editorial Omega.
- Tillman, A.-M., Baumann, H., Eriksson, E. and Rydberg, T. (1991) Livscykelanalyser för förpackningsmaterial. Beräkning av miljöbelastning. SOU 1991:77, bilagedel. Allmänna Förlaget, Stockholm.

## **Bibliografía**

- Tokimatsu, K., Hondo, H., Ogawa, Y., Okano, K., Yamaji, K., Katsurai, M. (2000). Evaluation of CO<sub>2</sub> emissions in the life cycle of Tokamak fusion power reactors. *Nuclear Fusion* 40, 653–659.
- Tormo, J., Bochet, E. & García-Fayos, P. (2009). Restauración y revegetación de taludes de carreteras en ambientes mediterráneos semiáridos: procesos edáficos. *Ecosistemas* 18 (2): 79-90.
- Treloar, G. J., Love, P. E. D., & Crawford, R. H. (2004). Hybrid Life-Cycle Inventory for Road Construction and Use. *Journal of construction engineering and management*, 130(February), 43.
- Trombulak, S. C. & Frissell, C. A. (2000). Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology* 14:18–30.
- Unión Europea. (2003). Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de octubre de 2003 por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad y por la que se modifica la Directiva 96/61/CE. *Diario Oficial de la Unión Europea* L 275: 32-46.
- Unión Europea. (2004). Directiva 2004/8/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de febrero de 2004, relativa al fomento de la cogeneración sobre la base de la demanda de calor útil en el mercado interior de la energía y por la que se modifica la Directiva 92/42/CEE. *Diario Oficial de la Unión Europea* L 52: 50-60.
- Unión Europea. (2009a). Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE. *Diario Oficial de la Unión Europea* L 140: 16-62.
- Unión Europea. (2009b). Directiva 2009/72/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de julio de 2009 , sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad y por la que se deroga la Directiva 2003/54/CE. *Diario Oficial de la Unión Europea* L 211: 55 – 92.
- Unión Europea. (2009c). Directiva 2009/29/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE para perfeccionar y ampliar el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero. *Diario Oficial de la Unión Europea* L 140/63-87

- USEPA. (2012). Best Available Techniques Guidance Notes. Retrieved December 1, 2012, from <http://www.epa.ie/whatwedo/advice/bat/>
- Vandenberghe, I., & Berthet, E. (2005). Life cycle assessment of acrylic road marking paints. *Double Liaison*, 544, 37–43.
- WBCSD. (2005). *CO2 Accounting and Reporting Standard for the Cement Industry. The Cement CO2 Protocol*. (Vol. 366, p. 62). doi:10.1016/S0140-6736(05)67201-7
- WBCSD. (2010). GNR Project Reporting CO2. Retrieved November 24, 2010, from <http://www.wbcscement.org/gnr-2008/index.html>
- WBCSD, & WRI. (2004). *GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard* (p. 138).
- WBCSD, & WRI. (2005). *The GHG Protocol for Project Accounting* (p. 148).
- Weiland, C., & Muench, S. T. (2010). Life-Cycle Assessment of Reconstruction Options for Interstate Highway Pavement in Seattle, Washington. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2170, 18–27. doi:10.3141/2170-03
- Willott, S.J., Miller, A.J., Incoll, L.D. & Compton, S.G. (2000). The contribution of rabbits (*Oryctolagus cuniculus* L.) to soil fertility in semi-arid Spain. *Biol. Fertil. Soils* 31: 379-384.
- White, P., Golden, J. S., Biligiri, K. P., & Kaloush, K. (2010). Modeling climate change impacts of pavement production and construction. *Resources, Conservation & Recycling*, 54(11), 776–782. doi:10.1016/j.resconrec.2009.12.007
- White, S., Kulcinski, G. (2000). Birth to death analysis of the energy payback ratio and CO2 gas emission rates from coal, fission, wind, and DT-fusion electrical power plants. *Fusion Engineering and Design* 48, 473–484.
- Woodall, C.W., Heath, L.S. & Smith, J.E. (2008). National inventories of down and dead woody material forest carbon stocks in the United States: Challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management* (256): 221-228.



### ***Bibliografia***

World Steel Association. (2010). Worldsteel top producers 2009. Retrieved November 24, 2010, from <http://www.worldsteel.org/?action=programs&id=53>

WRI. (2006). *The Land Use, Land-Use Change, and Forestry Guidance for GHG Project Accounting* (p. 100).

WRI, & WBCSD. (2011a). *Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard* (p. 154).

WRI, & WBCSD. (2011b). *Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard* (p. 156).

## Anexo I: Base de datos utilizada en los proyectos

Maquinaria de obra													
Grupo	Subgrupo	Tipo	Marca	Modelo	Potencia (kW)	Fuente energía	Fecha del modelo	Rendimiento base	Factor consumo			Tipo tecnología	
									hora	Min	Med		Máx
Compactación	Compactadores carga estática	Compactadores de pata de cabra	Caterpillar	Compactador alta velocidad CAT 825 C pata cabra	231	Diesel	2006	450,00 m3/h	27,7	41,58	55,4	Stage II	
			Komatsu	Compactadores de ruedas autopropulsados PC 35	118	Diesel	2006	300,00 Tm/h	14,2	21,24	28,3	Stage II	
		Compactadores autopropulsados	Corinsa	Compactador de ruedas autopropulsado CCR1421B	88	Diesel	1992	200,00 Tm/h	10,6	15,84	21,1	No regulado	
			Dynapac	Rodillo vibrante Tandem CC522	89	Diesel	1998	250,00 m3/h	10,7	16,02	21,4	No regulado	
	Compactadores vibrantes	Rodillos vibrantes	Ref.	Rodillo vibratorio autopropulsado 12-14t ASC90	119	Diesel	2009	n/d	14,3	21,42	28,6	Stage IIIA	
			BOMAG	Rodillos vibrantes 219	147	Diesel	2001	350,00 m3/h	17,6	26,46	35,3	Stage I	
	Movimiento tierras c.a.	Cargadoras	Cargadoras sobre cadenas	Ref.	Carg. s/ cadenas Bulldozer	220,8	Diesel	2009	200,00 m3/h	30,9	35,77	50,8	Stage IIIA
				Caterpillar	973 C	178	Diesel	2008	n/d	24,9	32,04	40,9	Stage IIIA
			Cargadoras sobre ruedas	Caterpillar	953 D	110	Diesel	2008	n/d	15,4	19,8	25,3	Stage IIIA
				Caterpillar	M 318 D	124	Diesel	2008	n/d	13,6	19,84	24,8	Stage IIIA
Excavadoras		Caterpillar	Cargadora sobre ruedas 980 C	222	Diesel	1988	170,00 m3/h	26,6	28,9	37,4	No regulado		
		Caterpillar	Excavadora Ruedas M 313 D	95	Diesel	2009	n/d	10,5	15,2	19	Stage IIIA		
Retroexcavadoras	Máquinas para nivelación y refino	Motoniveladoras	Caterpillar	Motoniveladora CAT 12 G	101	Diesel	1978	200,00 m3/h	11,1	17,17	22,2	No regulado	
		Caterpillar	120 H Global	93	Diesel	2005	25,00 m3/h	10,2	14,23	20,5	Stage II		
	Retro. Neumáticos	Ref.	Retroexcavadora sobre neumáticos 82 CV	60,35	Diesel	2009	n/d	n/d	6,64	9,65	12,1	Stage IIIA	
	Retro. Cadenas	Komatsu	Retro 750	335	Diesel	2004	350,00 m3/h	36,9	53,6	67	Stage II		

**Maquinaria de obra (Continuación)**

Grupo	Subgrupo	Tipo	Marca	Modelo	Potencia (kW)	Fuente energía	Fecha del modelo	Rendimiento base	Factor consumo hora			Tipo tecnología maquinaria
									Min	Med	Máx	
Movimiento tierras c.a.	Tractores	Tractores sobre Orugas	Ref.	Bull 140 cv	103,04	Diesel	2009	125,00 m <sup>3</sup> /h	14,4	23,7	16,7	Stage IIIA
		Tractores sobre cadenas	Caterpillar	D 6 D	105	Diesel	1995	n/d	14,7	18,9	24,2	No regulado
	Transporte extravial		Caterpillar	Tractor sobre cadenas D 6 D	105	Diesel	1995	n/d	14,7	18,9	24,2	No regulado
		Dumper extravial	Caterpillar	Camión bañera DUMPER 770	355	Diesel	2005	111,11 Tm/h	21,3	25,56	35,5	Stage I
Máq. Construcción carreteras y canales	Extendedoras de hormigón	Ext. hormigón	WIRTGEN	Extendidora Wirtgen SP 500	120	Diesel	2007	30,00 ml/h	18	21	24	Stage IIIA
		Ext. Mezclas asfálticas	Caterpillar	Extendidora AP757	149	Diesel	2007	71,43 m <sup>3</sup> /h	20,9	24,14	34,3	Stage IIIA
	Plantación y siembra vegetación		TITAN	Extendidora 423 II	126	Diesel	1998	400,00 Tm/h	18,9	22,05	43,2	No regulado
		Hidrosiembra	Bowie Robin	Lancer700S	18,4	Diesel	2008	n/d	2,21	2,58	2,94	Stage IIIA
Máquinas de limpieza	Barredoras	Barredoras autopropulsadas	Apex	Barredora Powerbox 62	8	Diesel	2008	n/d	1,2	1,4	1,6	Stage IIIA
Máquinas Conservación de Carreteras	Iluminación y ventilación	Luminarias	Luminaria	250 w de vapor de sodio	0,25	Mix eléctrico nac. 2009	2006	n/d	0,25	0,25	0,25	
Perforación, sondeos, hincas y pantallas	Maquinaria para perforación y demolición	Martillos hidráulicos	Atlas	Carro perforador Copco Roc 722	104	Diesel	1990	15,00 ml/h	15,6	18,2	20,8	No regulado

**Maquinaria de transporte**

Grupo	Subgrupo	Tipo	Marca	Modelo	Potencia (kW)	Fuente energía	Fecha del modelo	Volumen (m <sup>3</sup> )	Factor consumo hora			Tipo tecnología maq.
									Min	Med	Máx	
Transporte por carretera	Camiones	Rígido 20 - 26 t	ref.	Camión 23 t	210	Diesel	0	13,8	12,6	16,8	21	Euro IV
		Rígido > 32 t	Komatsu	Dumper rígido 465	533	Diesel	2006	34,2	32	42,64	53,3	Euro IV
		Articulado 20 - 28 t Iveco		Camión	167	Diesel	2004	13,5	10	13,36	16,7	Euro IV

Materiales																			
Grupo	Subgrupo	Denominación	Fase Preproducción							Fase Producción									
			Emisiones preproducción							Emisiones de proceso									
			CO2	CH4	N2O	SF6	CHF3	CF4	C2F6	Ámbito geográfico	Ref. temp.	CO2	CH4	N2O	SF6	CHF3	CF4	C2F6	
Hormigones	Betún	Emulsión bituminosa ECR	60315,5	0,09	0,9	0	0	0	0	UE (España)	2009	0	0	0	0	0	0	0	0
		Hormigon Bituminoso en Caliente - MBC en fabrica	53060	0,17	0,51	0	0	0	0	España	2010	25800	0	0	0	0	0	0	0
		Mezcla Bituminosa en Caliente de Fábrica	15448,86	11,57	0,23	0	0	0	0	UE (España)	2001	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cementos	Cemento generico	12,766	0	0	0	0	0	0	UE	1995	527	0	0	0	0	0	0	0
		Hormigón genérico	402305,9	65,57	1,84	0	0	0	0	UE (Suecia)	1995	0	0	0	0	0	0	0	0
	Hormigón	Hormigón genérico C30/37 S4	326927,64	6,79	2,77	0	0	0	0	0	UE	2001	0	0	0	0	0	0	0
Hormigón genérico C20/25 16 S4		257743	777,6	0,11	0	0	0	0	0	UE	2005	0	0	0	0	0	0	0	
Hormigón con escorias de alto horno C20/25 S4		129902,97	2,54	1,05	0	0	0	0	0	UE	2001	0	0	0	0	0	0	0	
Metales	Acero	Acero - Acero galvanizado	16,32	0,03	0	0	0	0	0	UE	1994	0	0	0	0	0	0	0	
	Aluminio	Aluminio primario extruido	1729,79	0,01	0,03	0	0	0	0	UE	2007	1743	0	0	0	0	0,04	0,002	
Pinturas	Pinturas acrílicas para carretera	Pintura con base de agua, primera capa	566,77	0	0	0	0	0	0	UE (Francia)	2004	0	0	0	0	0	0	0	
		Pintura con base de agua, repinte	354,23	0	0	0	0	0	0	UE (Francia)	2004	0	0	0	0	0	0	0	
Plásticos sólidos	Geotextiles	Geotextil de Yute	-1485	18	0	0	0	0	0	Internacio nal (India)	2006	0	0	0	0	0	0	0	
Áridos	Cal	Cal viva	No se considera la fase de preproducción al ser materia prima.										803,6	0	0	0	0	0	
	Áridos/Grava	Grava natural y arena	No se considera la fase de preproducción al ser materia prima.										0	0	0	0	0	0	0

Materiales (Continuación)		Fase Producción					Ámbito geogr.	Ref. temp.
Denominación			Fuentes y Consumos Energía					
Emulsión bituminosa ECR	Mix eléctrico nacional 2009	126,00 MJ	Diesel	376,15 MJ			UE (Suecia)	1995
Hormigon Bituminoso en Caliente - MBC en fabrica	Mix eléctrico nacional 2009	15,12 MJ	Gasóleo	47,06 MJ	Aceite usado	273,29 MJ	España	2008
Mezcla Bituminosa en Caliente de Fábrica	Mix eléctrico nacional 2009	36,00 MJ	Gasóleo	291,90 MJ			UE (Suecia)	1995
Cemento generico	Mix eléctrico nacional 2009	0,39 MJ	Diesel	0,04 MJ	Hulla y antracita	3,86 MJ	UE	1995
Hormigón genérico	Mix eléctrico nacional 2009	16,72 MJ	Diesel	48,68 MJ			UE	1995
Hormigón genérico C30/37 S4	Mix eléctrico nacional 2009	16,72 MJ	Gasóleo	48,68 MJ			UE (Suecia)	1995
Hormigón genérico C20/25 S4	Mix eléctrico nacional 2009	32,71 MJ					UE	2005
Hormigón con escorias de alto horno C20/25 S4	Mix eléctrico nacional 2009	16,72 MJ	Gasóleo	48,68 MJ			UE	2001
Acero - Acero galvanizado	Mix eléctrico nacional 2009	4,64 MJ	Gasóleo	3,60 MJ	Hulla y antracita	15,30 MJ	UE	1994
Aluminio primario extruido	Mix eléctrico nacional 2009	56,65 MJ	Gasóleo	0,09 MJ	Gas natural	4,56 MJ	Hulla y antracita	0,31 MJ
Pintura con base de agua, primera capa	Mix eléctrico nacional 2009	0,07 MJ	Diesel	1,52 MJ			UE (Francia)	2004
Pintura con base de agua, repinte	Mix eléctrico nacional 2009	0,04 MJ	Diesel	0,95 MJ			UE (Francia)	2004
Geotextil de Yute	Mix eléctrico nacional 2009	0,32 MJ	Diesel	4,08 MJ			Internacional (India)	2006
Cal viva	Mix eléctrico nacional 2009	0,13 MJ	Coque de Petróleo	1,75 MJ	Gas natural	1,37 MJ	España	2008
Grava natural y arena	Mix eléctrico nacional 2009	2,40 MJ	Diesel	0,89 MJ			UE (Suecia)	1995

**Fuentes de energía**

Categoría	Subcategoría	Denominación	Fase Combustión				Fase Precombustión					
			F. emis. CO2 (g/MJ)	F. emis. CH4 (g/MJ)	F. emis. N2O (g/MJ)	Ámbito geográfico	Ref. temporal	F. emis. CO2 (g/MJ)	F. emis. CH4 (g/MJ)	F. emis. N2O (g/MJ)	Ámbito geográfico	Ref. temp.
Combustibles	Combustibles industria	Aceite usado	73	0	0	España	2009	0	0	0	-	-
		Coque de Petróleo	98,3	0	0	España	2009	0	0	0	-	-
		Hulla y antracita	101	0	0	España	2009	28,25	0	0	Internacional	2007-2009
		Fuelóleo	76	0	0	España	2009	0	0	0	-	-
	Combustibles maquinaria	Gasóleo	73	0	0	España	2009	0	0	0	-	-
		Gas natural	56	0	0	España	2009	16,17	0	0	Internacional	2007-2009
Electricidad	Electricidad mix	Diesel	74	0	0	España	2009	14,31	0	0	Internacional	2007-2008
		Mix eléctrico nacional 2009	77,61	0	0	España	2009	14,96	0	0	España	2009

**Gases contaminantes**

Grupo	Símbolo	Descripción	GWP <sub>100</sub>	Ref. temp.
HFC	CO <sub>2</sub>	Dióxido de	1	1995
	CH <sub>4</sub>	Metano	25	1995
	N <sub>2</sub> O	Óxido nítrico	298	1995
	SF <sub>6</sub>	Hexafluoruro de azufre	22800	1995
PFC	CHF <sub>3</sub>	HFC-23	14800	1995
	CF <sub>4</sub>	PFC-14	7390	1995
	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	PFC-116	12200	1995

## Anexo II: Estructura y emisiones a máximo desglose de los proyectos

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud. Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
<b>PROYECTO AUTOVÍA DEL IV CENTENARIO. TRAMO I: CIUDAD REAL - GRANÁTULA DE</b>												
<b>ETAPA CONSTRUCCIÓN</b>												
<b>DRENAJE</b>												
<b>Arquetas y sumideros</b>												
<b>49 Ud. Arqueta</b>												
		Hormigón genérico C20/25 16 S4	0,3653	m³	4,67E+3	1,39E+1	2,13E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,02E+3
		Residuo Envases de Madera	0,00057	m³	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Iveco Camión	0,135	h	5,11E+0	3,70E-5	9,13E-5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,14E+0
<b>101 Ud. Imbornal sumidero</b>												
		Hormigón genérico C20/25 16 S4	0,03	m³	7,90E+2	2,36E+0	3,45E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,49E+2
		Iveco Camión	0,011	h	8,58E-1	6,22E-6	1,53E-5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,63E-1
<b>Cunetas</b>												
<b>65650 m Cunetas prefabricadas</b>												
		Caterpillar Excavadora Ruedas M 313 D	0,006	h	3,67E+4	1,87E+0	1,31E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,06E+4
		Hormigón genérico C20/25 16 S4	0,15	m³	2,57E+6	7,66E+3	1,12E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,76E+6
		Residuo Envases de Madera	0,002	m³	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Komatsu Dumper rígido 465	0,111	h	5,90E+3	3,06E-2	1,27E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,94E+3
<b>Drenes</b>												
<b>26640 m Zanja drenante</b>												
		Caterpillar Excavadora Ruedas M 313 D	0,008	h	1,99E+4	1,01E+0	7,09E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,20E+4
		Caterpillar Compactador alta velocidad CAT 825 C										
		pata cabra	0,00007	h	4,13E+2	2,15E-2	1,51E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,58E+2
		Grava natural y arena	3,825	t	3,06E+4	9,03E-2	2,71E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,07E+4
<b>ESTRUCTURAS</b>												
<b>Armadura de acero</b>												
<b>3380391,9 kg Acero para armar</b>												
		Acero - Acero galvanizado	1	kg	9,52E+6	1,28E+2	5,63E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,54E+6
		Residuos Hierro y acero	0,00001	kg	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Iveco Camión	0,002	h	4,62E+3	2,84E-2	7,71E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,64E+3
		ref. Camión 23 t	0	h	2,44E-2	1,49E-7	4,04E-7	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,46E-2
<b>Hormigón</b>												
<b>24464 m³ Hormigón</b>												
		Caterpillar Extendedora AP757	0,014	h	4,89E+4	2,55E+0	1,79E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,43E+4
		Hormigón genérico	1,02	m³	1,02E+7	1,64E+3	4,95E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,02E+7

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
<b>Pilotes</b>												
1680	m	Pilote hormigón armado in situ			4,51E+5	9,56E+0	7,77E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,54E+5
		Atlas Carro perforador Copco Roc 722	0,066	h	4,51E+5	9,56E+0	7,77E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,54E+5
		Hormigón genérico C30/37 S4	0,7854	m³	1,13E+4	5,77E-1	4,04E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,25E+4
		Residuo Tierras y piedras	0,9	m³	4,38E+5	8,97E+0	3,70E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,39E+5
		Iveco Camión	0,291	h	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		ref. Camión 23 t	1,304	h	3,78E+2	2,74E-3	6,75E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,80E+2
					1,67E+3	1,23E-2	3,02E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,68E+3
<b>Viga de hormigón pretensado</b>												
4579,6	m	Viga			1,20E+6	3,56E+3	5,61E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,29E+6
		Hormigón genérico C20/25 16 S4	1	m³	1,20E+6	3,56E+3	5,61E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,29E+6
		Iveco Camión	0,74	h	1,19E+6	3,56E+3	5,22E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,28E+6
					2,31E+3	1,42E-2	3,86E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,33E+3
<b>FIRMES</b>												
<b>Capa de ligante emulsión</b>												
1605,38	t	Riego de adherencia			2,03E+7	5,88E+3	6,23E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,06E+7
		TITAN Extendidora 423 II	0,001	h	1,70E+5	7,68E-1	3,34E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,71E+5
		Apex Barredora Powerbox 62	0,001	h	1,70E+5	7,68E-1	3,34E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,71E+5
		Emulsión bituminosa ECR	1	t	1,98E+2	1,01E-2	7,08E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,20E+2
		Iveco Camión	0,5	h	1,31E+1	6,42E-4	4,50E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,45E+1
					1,69E+5	7,54E-1	3,26E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,70E+5
					5,48E+2	3,37E-3	9,15E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,51E+2
<b>Capas granulares</b>												
338781,89	m³	Zahorra artificial			5,16E+5	1,63E+1	1,11E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,50E+5
		Caterpillar Cargadora sobre ruedas 980 C	0,004	h	5,16E+5	1,63E+1	1,11E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,50E+5
		Caterpillar Compactador alta velocidad CAT 825 C			2,88E+5	1,50E+1	1,05E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,20E+5
		pata cabra	0,00013	h	9,74E+3	5,09E-1	3,56E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,08E+4
		Grava natural y arena	1,7	t	1,73E+5	5,10E-1	1,53E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,73E+5
		Komatsu Dumper rígido 465	0,1462	h	4,55E+4	2,77E-1	1,06E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,58E+4
<b>Mezclas bituminosas</b>												
460162,45	t	Mezcla bituminosa en caliente			1,95E+7	5,37E+3	5,08E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,97E+7
		TITAN Extendidora 423 II	0,008	h	1,95E+7	5,37E+3	5,08E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,97E+7
		Dynapac Rodillo vibrante Tandem CC522	0,01	h	4,55E+5	2,32E+1	1,62E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,04E+5
		Mezcla Bituminosa en Caliente de Fábrica	1	t	4,02E+5	2,05E+1	1,43E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,45E+5
		Iveco Camión	0,5	h	1,84E+7	5,33E+3	2,00E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,86E+7
					1,57E+5	9,66E-1	2,62E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,58E+5
<b>Obras complementarias</b>												
16970	m	Bordillo			1,65E+5	4,95E+2	7,67E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,77E+5
		Hormigón genérico C20/25 16 S4	0,0375	m³	1,65E+5	4,95E+2	7,67E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,77E+5
		Residuo Hormigón por uso	0,0033	m³	1,66E+5	4,95E+2	7,25E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,78E+5
					-1,40E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,40E+3



Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
		Residuo Envases de Madera	0,00084	m³	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Iveco Camión	0,0139	h	1,82E+2	1,32E-3	3,26E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,83E+2
		ref. Camión 23 t	0,00478	h	5,60E+1	3,41E-4	9,25E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,62E+1
<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>												
<b>Demoliciones</b>												
1404,2	m³	Demo/Trans H. Arm con Martillo			7,91E+3	2,12E+0	1,48E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,24E+4
		Atlas Carro perforador Copco Roc 722	0,2	h	2,86E+4	1,46E+0	1,02E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,36E+2
		Caterpillar Excavadora Ruedas M 313 D	0,018	h	2,35E+3	1,20E-1	8,40E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,17E+4
		Residuo Hormigón demolición	1	m³	-3,51E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,61E+3
		Iveco Camión	1,48	h	1,60E+3	1,16E-2	2,87E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-3,51E+4
31043	m²	Demo/Trans Pav. Mezcla Bituminosa			1,04E+4	5,31E-1	3,72E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,61E+3
		Caterpillar Excavadora Ruedas M 313 D	0,0036	h	1,04E+4	5,31E-1	3,72E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,15E+4
		Residuo Mezcla bituminosa	0,15	m³	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Iveco Camión	0,00056	h	1,18E+1	7,24E-5	1,96E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,18E+1
<b>Despeje y desbroce del terreno</b>												
		Despeje y desbroce del terreno			5,94E+7	4,52E+2	3,12E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,03E+7
2128937	m²	Superficie despejada y desbrozada			9,77E+6	4,52E+2	3,12E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,07E+7
		Caterpillar Tractor sobre cadenas D 6 D	0,013	h	2,85E+6	1,45E+2	1,02E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,07E+7
		Caterpillar Cargadora sobre ruedas 980 C	0,0126	h	5,70E+6	2,98E+2	2,08E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,16E+6
		Iveco Camión	0,74	h	1,22E+6	8,82E+0	2,17E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,33E+6
<b>Impacto sobre Sistemas Naturales</b>												
601,9	m²	Superficie de vegetación y suelo eliminados de Bosque de ribera			4,96E+7	3,28E+3	8,07E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,22E+6
		Bosque de ribera	1	m²	2,53E+4	1,80E-5	4,44E-5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,96E+7
		Iveco Camión	0,00535	h	2,49E+0	1,80E-5	4,44E-5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,53E+4
16092,64	m²	Superficie de vegetación y suelo eliminados de Coscojares-Tojal			1,45E+6	6,13E-4	1,51E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,50E+0
		Coscojares-Tojal Brezal_Matorral rebrotador de más de un metro	1	m²	1,45E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,45E+6
		Iveco Camión	0,0068	h	8,45E+1	6,13E-4	1,51E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,50E+1
14827,62	m²	Superficie de vegetación y suelo eliminados de Espartizal			1,91E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,91E+5
		Espartizal	1	m²	1,91E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,91E+5
564219,81	m²	Superficie de vegetación y suelo eliminados de Labor de regadío			1,37E+7	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,37E+7
		Labor regadío	1	m²	1,37E+7	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,37E+7
1082383,2	m²	Superficie de vegetación y suelo eliminados de Labor de secano			2,07E+7	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,07E+7
		Labor secano	1	m²	2,07E+7	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,07E+7

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
276981,89	m <sup>2</sup>	Superficie de vegetación y suelo eliminados de Olivar			7,00E+6	2,36E-3	5,81E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,00E+6
		Olivar	1	m <sup>2</sup>	7,00E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,00E+6
31598,71	m <sup>2</sup>	Iveco Camión	0,00152	h	3,25E+2	2,36E-3	5,81E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,27E+2
		Superficie de vegetación y suelo eliminados de Pastizal tipo			1,12E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,12E+6
		Pastizal tipo mediterráneo	1	m <sup>2</sup>	1,12E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,12E+6
16092,64	m <sup>2</sup>	Superficie de vegetación y suelo eliminados de Tomillares-Matorral			3,78E+5	1,62E-4	4,00E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,78E+5
		Tomillares-Matorral hasta medio metro	1	m <sup>2</sup>	3,78E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,78E+5
		Iveco Camión	0,0018	h	2,24E+1	1,62E-4	4,00E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,25E+1
301647,99	m <sup>2</sup>	Superficie de vegetación y suelo eliminados de Viñedo			5,08E+6	1,27E-4	3,13E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,08E+6
		Viñedo	1	m <sup>2</sup>	5,08E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,08E+6
		Iveco Camión	0,00008	h	1,75E+1	1,27E-4	3,13E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,76E+1
<b>Estabilizaciones</b>												
459685,3	m <sup>2</sup>	Estabilización con Cal suelo S-EST-1			4,92E+6	9,88E-1	6,94E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,13E+6
		Ref. Carg. s/ cadenas Bulldozer	0,0165	h	1,60E+6	8,37E+1	5,86E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,78E+6
		Caterpillar 120 H Global	0,00195	h	8,17E+4	4,17E+0	2,92E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,05E+4
		Ref. Rodillo vibratorio autopropulsado 12 a 14 t										
		ASC90	0,0033	h	1,77E+5	9,03E+0	6,32E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,96E+5
		Cal viva	6,12	kg	3,06E+6	1,86E+0	1,57E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,06E+6
		Iveco Camión	0,00306	h	1,09E+3	7,88E-3	1,94E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,09E+3
1658423	m <sup>2</sup>	Estabilización con Cemento expl. E3 suelo S-EST-3			4,63E+7	7,74E-2	5,01E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,78E+7
		Ref. Carg. s/ cadenas Bulldozer	0,033	h	1,16E+7	6,04E+2	4,23E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,28E+7
		Caterpillar 120 H Global	0,0039	h	5,90E+5	3,01E+1	2,11E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,53E+5
		Ref. Rodillo vibratorio autopropulsado 12 a 14 t										
		ASC90	0,0069	h	1,34E+6	6,81E+1	4,77E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,48E+6
		Cemento generico	18,3	kg	3,27E+7	7,15E+1	9,74E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,28E+7
		Iveco Camión	0,02745	h	3,52E+4	2,55E-1	6,28E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,54E+4
<b>Excavaciones</b>												
2784058,2	m <sup>3</sup>	Excav. Dte sin Clasif. M/Mec.			2,95E+7	1,45E+3	1,01E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,26E+7
		Caterpillar Cargadora sobre ruedas 980 C	0,004	h	2,37E+6	1,24E+2	8,65E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,63E+6
		Caterpillar Motoniveladora CAT 12 G	0,09	h	2,48E+7	1,27E+3	8,86E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,75E+7
		Residuo Tierras y piedras	1,5	m <sup>3</sup>	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Iveco Camión	0,55	h	1,18E+6	8,57E+0	2,11E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,19E+6
631076	m <sup>3</sup>	Excav. T. Vegetal M/Mecánicos			1,15E+6	4,95E-1	3,40E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,26E+6
		Caterpillar Excavadora Ruedas M 313 D	0,016	h	9,41E+5	4,80E+1	3,36E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,04E+6
		Residuo Tierras y piedras	1,2	m <sup>3</sup>	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
Iveco Camión												
Rellenos y terraplenes												
97051,57	m <sup>3</sup>	Rell. Localiz. Mater. Selección.	0,44	h	2,14E+5	1,55E+0	3,83E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,16E+5
		Caterpillar Excavadora Ruedas M 313 D	0,019	h	1,92E+8	9,79E+3	6,85E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,13E+8
					2,24E+5	9,06E+0	6,28E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,43E+5	
					1,72E+5	8,76E+0	6,13E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,90E+5	
		Caterpillar Compactador alta velocidad CAT 825 C	0,00014	h	3,01E+3	1,57E-1	1,10E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,34E+3
					4,95E+4	1,46E-1	4,39E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,97E+4	
					1,92E+8	9,78E+3	6,85E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,12E+8	
2390797,6	m <sup>3</sup>	Terraplen precedente excavación	0,81	h	1,92E+8	9,78E+3	6,85E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,12E+8	
		Caterpillar Motoniveladora CAT 12 G	0,00014	h	7,41E+4	3,87E+0	2,71E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,22E+4
					-1,56E+7	3,15E+2	2,20E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,49E+7	
					-1,56E+7	3,15E+2	2,20E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,49E+7	
61	m <sup>2</sup>	Revegetación en pasos de fauna	0,005	h	-6,63E+2	3,17E-3	2,22E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-6,56E+2
		Caterpillar D 6 D	0,005	h	3,14E+1	1,60E-3	1,12E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,48E+1
					3,08E+1	1,57E-3	1,10E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,41E+1	
					Plantación de matorral rebrotador de mediano desarrollo (hasta un metro)	1	m <sup>2</sup>	-7,25E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
267317	m <sup>2</sup>	Revegetación en taludes de desmonte	0,07	h	-8,30E+6	5,67E+1	3,97E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-8,18E+6
		Ref. Retroexcavadora sobre neumáticos 82 CV	0,001	h	1,13E+6	5,65E+1	3,95E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,25E+6
					5,03E+3	2,46E-1	1,72E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,55E+3	
					9,44E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-9,44E+6	
449820,29	m <sup>2</sup>	Revegetación en taludes de terraplén, enlaces y glorietas	1	m <sup>2</sup>	-3,75E+6	1,19E+2	8,32E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-3,50E+6
		Caterpillar D 6 D	0,005	h	2,32E+5	1,18E+1	8,27E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,56E+5
					2,27E+5	1,16E+1	8,11E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,52E+5	
					1,90E+6	9,50E+1	6,65E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,10E+6	
		Ref. Retroexcavadora sobre neumáticos 82 CV	0,001	h	8,46E+3	4,14E-1	2,90E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,33E+3	
					5,61E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-5,61E+6	
					Plantación mixta de coníferas y frondosas	1	m <sup>2</sup>	-5,61E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Plantación de matorral rebrotador de gran desarrollo (más de un metro)	0,75	m <sup>2</sup>	-2,43E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-2,43E+5
					-2,67E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-2,67E+5	
					Pastizal tipo mediterráneo	0,25	m <sup>2</sup>	-4,42E+4	2,91E-1	2,04E+0	0,00E+0	0,00E+0
5600	m <sup>2</sup>	Revegetación en vías pecuarias	0,005	h	2,88E+3	1,47E-1	1,03E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,19E+3
		Caterpillar D 6 D	0,005	h	2,83E+3	1,44E-1	1,01E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,13E+3
					Ref. Bull 140 cv							

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
Plantación de matorral rebrotador de mediano desarrollo (hasta un metro)												
528005	m²	Revegetación en zonas de carretera a demoler, vertederos y zonas	0,75	m²	-4,99E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-4,99E+4
		Caterpillar D 6 D	0,005	h	2,72E+5	1,39E+1	9,70E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-3,21E+6
		Ref. Bull 140 cv	0,005	h	2,67E+5	1,36E+1	9,52E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,01E+5
		Ref. Retroexcavadora sobre neumáticos 82 CV	0,07	h	2,23E+6	1,12E+2	7,81E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,95E+5
		Plantación poco densa mixta de coníferas y frondosas	1	m²	-6,17E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,46E+6
		Plantación poco densa poco densa de matorral rebrotador de gran desarrollo (más de un metro)	0,5	m²	-9,50E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-6,17E+6
SEÑALIZACIÓN												
Barreras												
75150	m	Barrera metálica	0,5	kg	1,06E+5	1,42E+0	6,25E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,06E+5
		Acero - Acero galvanizado	0,0001	h	5,13E+0	3,16E-5	8,57E-5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,06E+5
		Iveco Camión			4,36E+4	3,68E-1	2,24E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,16E+0
Marcas viales												
255384,62	m	Marca vial	0,002	h	4,18E+3	2,04E-1	1,43E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,03E+4
		Apex Barredora Powerbox 62	0,2	m²	3,61E+4	7,76E-2	2,33E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,61E+3
		Pintura con base de agua, primera capa	0	m³	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,62E+4
		Residuo Envases de Madera			3,32E+3	8,56E-2	5,81E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
2030,23	m²	Superficie pintada	0,1	h	1,66E+3	8,12E-2	5,68E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,49E+3
		Apex Barredora Powerbox 62	1	m²	1,44E+3	3,09E-3	9,26E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,83E+3
		Pintura con base de agua, primera capa	0,00002	m³	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,44E+3
		Residuo Envases de Madera	0,1568	h	2,20E+2	1,34E-3	3,63E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		ref. Camión 23 t			1,53E+5	2,17E-1	5,71E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,21E+2
Paneles												
1924,84	m²	Panel de Aluminio	8,78	kg	1,53E+5	2,17E-1	5,71E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,60E+5
		Aluminio primario extruido	0,01756	h	2,31E+1	1,42E-4	3,85E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,60E+5
		Iveco Camión			5,15E+5	6,94E+0	3,05E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,32E+1
Señales metálicas												
972	Ud.	Señal	188,289	kg	5,15E+5	6,94E+0	3,05E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,16E+5
		Acero - Acero galvanizado	0,28243	h	1,87E+2	1,15E-3	3,13E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,16E+5
		Iveco Camión			1,87E+2	1,15E-3	3,13E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,88E+2

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
<b>ETAPA MANTENIMIENTO Y EXPLOTACIÓN</b>												
<b>ABSORCIONES DE LA CARRETERA</b>												
<b>Materiales ubicados</b>												
16403,88	m³	Hormigón ubicado Elem. Auxiliares			7,01E+7	3,28E+3	4,41E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,15E+7
		Hormigón genérico C20/25 16 S4	1	m³	-1,55E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,55E+5
		Hormigón ubicado Estructuras			-1,55E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,55E+5
24464	m³	Hormigón ubicado Estructuras			-6,23E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-6,23E+4
		Hormigón genérico	1	m³	-6,23E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-6,23E+4
		Hormigón genérico			-9,30E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-9,30E+4
		Hormigón genérico	1	m³	-9,30E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-9,30E+4
<b>ILUMINACIÓN</b>												
<b>Iluminación por farolas</b>												
1130,81	Ud.	Luminarias			8,50E+7	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,50E+7
		Luminaria 250 w de vapor de sodio	2555	h	8,50E+7	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,50E+7
<b>LIMPIEZA DE LA CARRETERA</b>												
<b>Limpieza de la carretera</b>												
395784,34	m²	Limpieza de carreteras			1,21E+7	6,00E+2	4,20E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,34E+7
		Apex Barredora Powerbox 62	0,005	h	1,21E+7	6,00E+2	4,20E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,34E+7
113081,24	m²	Tala y limpieza de arbustos/arbolado			9,71E+6	4,75E+2	3,32E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,07E+7
		Caterpillar Cargadora sobre ruedas 980 C	0,001	h	9,71E+6	4,75E+2	3,32E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,07E+7
<b>MARCAS VIALES</b>												
2030,23	m²	Superficie pintada			2,40E+6	1,26E+2	8,79E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,67E+6
		Apex Barredora Powerbox 62	0,1	h	2,40E+6	1,26E+2	8,79E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,67E+6
255384,62	m	Marca vial			1,47E+6	1,68E+1	1,07E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,50E+6
		Apex Barredora Powerbox 62	0,002	h	1,47E+6	1,68E+1	1,07E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,50E+6
		Pintura con base de agua, repinte	0,2	m²	1,28E+5	4,16E+0	2,87E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,37E+5
		Apex Barredora Powerbox 62	0,1	h	8,30E+4	4,06E+0	2,84E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,16E+4
		Pintura con base de agua, repinte	1	m²	4,49E+4	9,64E-2	2,89E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,50E+4
		Marca vial			1,34E+6	1,26E+1	7,88E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,36E+6
		Apex Barredora Powerbox 62	0,002	h	2,09E+5	1,02E+1	7,15E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,30E+5
		Pintura con base de agua, repinte	0,2	m²	1,13E+6	2,43E+0	7,28E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,13E+6
<b>REPARACIÓN DE FIRMES</b>												
<b>Mezclas bituminosas</b>												
46016,25	t	Mezcla bituminosa en caliente			9,31E+6	2,66E+3	1,02E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,40E+6
		TITAN Extendidora 423 II	0,0001	h	2,88E+7	8,03E+3	6,11E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,40E+6
		Mezcla Bituminosa en Caliente de Fábrica	1	t	2,84E+3	1,45E-1	1,01E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,15E+3
		Iveco Camión	0,5	h	2,77E+7	7,99E+3	3,00E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,32E+6
		Iveco Camión			2,36E+5	1,45E+0	3,93E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,90E+4
<b>REPOSICIÓN DE ELEMENTOS NATURALES</b>												
61	m²	Vegetación en pasos de fauna			-3,76E+7	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-3,76E+7
		Plantación de matorral rebrotador de mediano desarrollo (hasta un metro)	1	m²	-7,41E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-7,41E+3

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
<b>449820,29</b>	<b>m²</b>	<b>Vegetación en taludes de terraplén, enlaces y glorietas</b>			<b>-2,29E+7</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>-2,29E+7</b>
		Plantación mixta de coníferas y frondosas	1	m²	-1,81E+7	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,81E+7
		Coníferas y frondosas	1	m²	-4,86E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-4,86E+6
<b>5600</b>	<b>m²</b>	<b>Vegetación en vías pecuarias</b>			<b>-5,10E+5</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>-5,10E+5</b>
		Plantación de matorral rebrotador de mediano desarrollo (hasta un metro)	0,75	m²	-5,10E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-5,10E+5
<b>528005</b>	<b>m²</b>	<b>Vegetación en zonas de carretera a demoler, vertederos y zonas</b>			<b>-1,42E+7</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>-1,42E+7</b>
		Plantación poco densa mixta de coníferas y frondosas	1	m²	-8,45E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-8,45E+6
		Coníferas y frondosas	1	m²	-5,70E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-5,70E+6

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
<b>PROYECTO AUTOVÍA DEL MEDITERRÁNEO Y NUEVO ACCESO AL PUERTO DE MOTRIL</b>												
<b>ETAPA CONSTRUCCIÓN</b>												
<b>DRENAJE</b>												
<b>Arquetas y sumideros</b>												
302	Ud.	Imbormal sumidero										
		Hormigón genérico C20/25 16 S4	0,05	m³	3,94E+3	1,17E+1	1,77E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,23E+3
		Iveco Camión	0,011	h	2,57E+0	1,86E-5	4,58E-5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,58E+0
<b>Cunetas</b>												
28872	m	Cuneta de hormigón			3,20E+5	8,11E+2	1,74E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,45E+5
		Caterpillar Excavadora Ruedas M 313 D	0,0056	h	2,73E+5	6,76E+2	1,67E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,94E+5
		Caterpillar Motoniveladora CAT 12 G	0,011	h	1,51E+4	7,68E-1	5,38E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,67E+4
		Hormigón genérico C20/25 16 S4	0,03	m³	3,15E+4	1,60E+0	1,12E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,48E+4
		Komatsu Dumper rígido 465	0,00877	h	2,26E+5	6,74E+2	9,87E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,43E+5
1156	m	Cunetas prefabricadas			4,72E+4	1,35E+2	7,02E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,08E+4
		Caterpillar Excavadora Ruedas M 313 D	0,006	h	6,46E+2	3,29E-2	2,31E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,16E+2
		Caterpillar Motoniveladora CAT 12 G	0,011	h	1,26E+3	6,42E-2	4,50E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,39E+3
		Hormigón genérico C20/25 16 S4	0,15	m³	4,52E+4	1,35E+2	1,98E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,86E+4
		Residuo Envases de Madera	0,002	m³	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Komatsu Dumper rígido 465	0,111	h	1,04E+2	5,39E-4	2,23E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,05E+2
<b>Drenes</b>												
14903,55	m	Zanja drenante			-5,84E+4	1,31E+3	5,03E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-2,41E+4
		Caterpillar Excavadora Ruedas M 313 D	0,008	h	2,14E+4	6,08E-1	4,14E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,27E+4
		Caterpillar Compactador alta velocidad CAT 825 C			1,11E+4	5,66E-1	3,96E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,23E+4
		pata cabra	0,00007	h	2,31E+2	1,20E-2	8,43E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,56E+2
		Grava natural y arena	2,25	t	1,01E+4	2,97E-2	8,91E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,01E+4
72881,4	m²	Geotextil			-7,98E+4	1,31E+3	8,92E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-4,67E+4
		Geotextil de Yute	1	kg	-7,98E+4	1,31E+3	8,91E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-4,67E+4
		Komatsu Dumper rígido 465	0,0004	h	2,68E+1	1,63E-4	6,24E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,70E+1
<b>Tubos de acero</b>												
1408	m	Tubo de acero			4,48E+4	6,03E-1	2,65E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,49E+4
		Acero - Acero galvanizado	11,3	kg	4,48E+4	6,03E-1	2,65E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,49E+4
		Komatsu Dumper rígido 465	0,00226	h	2,92E+0	1,78E-5	6,81E-5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,94E+0
<b>ESTRUCTURAS</b>												
<b>Armadura de acero</b>												
					3,49E+7	3,32E+3	5,38E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,51E+7
					1,46E+7	1,97E+2	8,65E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,46E+7

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
5191042,4	kg	Acero para armar			1,46E+7	1,97E+2	8,65E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,46E+7
		Acero - Acero galvanizado	1	kg	1,46E+7	1,97E+2	8,64E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,46E+7
		Residuos Hierro y acero	0,00001	kg	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Iveco Camión	0,002	h	7,09E+3	4,36E-2	1,18E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,13E+3
		ref. Camión 23 t	0	h	3,75E-2	2,28E-7	6,20E-7	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,77E-2
Hormigón					1,95E+7	3,04E+3	4,39E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,97E+7
44605,75	m³	Hormigón			1,95E+7	3,04E+3	4,39E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,97E+7
		Caterpillar Extendedora AP757	0,15	h	9,55E+5	4,98E+1	3,49E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,06E+6
		Hormigón genérico	1,02	m³	1,86E+7	2,99E+3	9,02E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,87E+7
Pilotes					6,91E+5	1,46E+1	1,19E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,95E+5
2572,15	m	Pilote hormigón armado in situ			6,91E+5	1,46E+1	1,19E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,95E+5
		Atlas Carro perforador Copco Roc 722	0,066	h	1,73E+4	8,83E-1	6,18E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,92E+4
		Hormigón genérico C30/37 S4	0,7854	m³	6,71E+5	1,37E+1	5,66E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,73E+5
		Residuo Tierras y piedras	0,9	m³	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Iveco Camión	0,291	h	5,78E+2	4,19E-3	1,03E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,81E+2
		ref. Camión 23 t	1,304	h	2,55E+3	1,88E-2	4,63E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,57E+3
Viga de hormigón pretensado					2,34E+4	6,97E+1	1,12E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,52E+4
112	m	Vigas de hormigón			2,34E+4	6,97E+1	1,12E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,52E+4
		Hormigón genérico C20/25 16 S4	0,8	m³	2,34E+4	6,97E+1	1,02E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,51E+4
		Iveco Camión	0,74	h	5,66E+1	3,48E-4	9,45E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,69E+1
FIRMES					7,05E+6	2,10E+3	2,09E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,16E+6
Capa de ligante emulsión					2,12E+5	9,48E-1	4,10E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,13E+5
1147,06	t	Emulsión Tratamiento Superficial			1,21E+5	5,40E-1	2,34E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,22E+5
		Apex Barredora Powerbox 62	0,001	h	9,38E+0	4,59E-4	3,21E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,03E+1
		Emulsión bituminosa ECR	1	t	1,21E+5	5,38E-1	2,33E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,21E+5
		Komatsu Dumper rígido 465	0,2	h	2,11E+2	1,28E-3	4,91E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,12E+2
393,34	t	Riego de adherencia			4,16E+4	1,88E-1	8,19E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,18E+4
		TITAN Extendedora 423 II	0,001	h	4,86E+1	2,48E-3	1,73E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,38E+1
		Apex Barredora Powerbox 62	0,001	h	3,22E+0	1,57E-4	1,10E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,55E+0
		Emulsión bituminosa ECR	1	t	4,14E+4	1,85E-1	7,98E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,16E+4
		Iveco Camión	0,5	h	1,34E+2	8,26E-4	2,24E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,35E+2
444,89	m²	Riego imprimación			4,92E+4	2,19E-1	9,49E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,94E+4
		TITAN Extendedora 423 II	0	h	3,85E-2	1,96E-6	1,37E-5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,26E-2
		Emulsión bituminosa ECR	1,05	t	4,91E+4	2,19E-1	9,48E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,94E+4
		Iveco Camión	0,0525	h	1,80E+1	1,31E-4	3,22E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,81E+1



Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
<b>Capas granulares</b>												
97455,4	m³	Zahorra artificial			1,49E+5	4,70E+0	3,21E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,58E+5
		Caterpillar Cargadora sobre ruedas 980 C	0,004	h	1,49E+5	4,70E+0	3,21E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,58E+5
		Caterpillar Compactador alta velocidad CAT 825 C			8,29E+4	4,33E+0	3,03E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,20E+4
		pata cabra	0,00013	h	2,80E+3	1,46E-1	1,02E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,11E+3
		Grava natural y arena	1,7	t	4,97E+4	1,47E-1	4,40E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,99E+4
		Komatsu Dumper rígido 465	0,1462	h	1,31E+4	7,98E-2	3,05E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,32E+4
<b>Mezclas bituminosas</b>												
155960,42	t	Mezcla bituminosa en caliente			6,60E+6	1,82E+3	1,72E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,69E+6
		TITAN Extendedora 423 II	0,008	h	1,54E+5	7,86E+0	5,50E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,69E+6
		Dynapac Rodillo vibrante Tandem CC522	0,01	h	1,36E+5	6,94E+0	4,86E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,71E+5
		Mezcla Bituminosa en Caliente de Fábrica	1	t	6,25E+6	1,81E+3	6,78E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,51E+5
		Iveco Camión	0,5	h	5,33E+4	3,28E-1	8,89E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,32E+6
<b>Obras complementarias</b>												
9475,05	m	Bordillo			9,20E+4	2,76E+2	4,28E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,35E+4
		Hormigón genérico C20/25 16 S4	0,0375	m³	9,20E+4	2,76E+2	4,28E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,89E+4
		Residuo Hormigón por uso	0,0033	m³	-7,82E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-7,82E+2
		Residuo Envases de Madera	0,00084	m³	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Iveco Camión	0,0139	h	1,02E+2	7,38E-4	1,82E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,02E+2
		ref. Camión 23 t	0,00478	h	3,12E+1	1,90E-4	5,16E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,14E+1
<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>												
					3,80E+8	1,74E+4	1,22E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,17E+8
<b>Demoliciones</b>												
4620	m²	Demo/Trans Pav. Mezcla Bituminosa			8,61E+3	4,39E-1	3,07E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,53E+3
		Caterpillar Excavadora Ruedas M 313 D	0,02	h	8,61E+3	4,39E-1	3,07E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,53E+3
		Residuo Mezcla bituminosa	0,15	m³	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Iveco Camión	0,00056	h	1,75E+0	1,08E-5	2,92E-5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,76E+0
<b>Despeje y desbroce del terreno</b>												
					4,00E+7	2,08E+2	1,44E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,04E+7
		Despeje y desbroce del terreno			4,50E+6	2,08E+2	1,44E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,93E+6
980740,3	m²	Superficie despejada y desbrozada			4,50E+6	2,08E+2	1,44E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,93E+6
		Caterpillar Tractor sobre cadenas D 6 D	0,013	h	1,31E+6	6,69E+1	4,69E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,45E+6
		Caterpillar Cargadora sobre ruedas 980 C	0,0126	h	2,63E+6	1,37E+2	9,60E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,92E+6
		Iveco Camión	0,74	h	5,60E+5	4,06E+0	1,00E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,64E+5
<b>Impacto sobre Sistemas Naturales</b>												
51056,77	m²	Superficie de vegetación y suelo eliminados de Brezales_Matorral	1	m²	3,55E+7	1,56E-2	3,83E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,55E+7
		Brezales-Matorral rebrotador hasta un metro			3,09E+6	1,05E-3	2,59E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,09E+6

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
186504,6	m <sup>2</sup>	Iveco Camión	0,00368	h	1,45E+2	1,05E-3	2,59E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,46E+2
		Superficie de vegetación y suelo eliminados de Frutales			3,14E+6	1,59E-3	3,91E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,14E+6
		Frutales	1	m <sup>2</sup>	3,14E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,14E+6
51056,77	m <sup>2</sup>	Iveco Camión	0,00152	h	2,19E+2	1,59E-3	3,91E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,20E+2
		Superficie de vegetación y suelo eliminados de Jarales-Matorral		no	2,14E+6	7,72E-4	1,90E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,14E+6
		Jarales_Matorral no rebrotador hasta un metro	1	m <sup>2</sup>	2,14E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,14E+6
222551,57	m <sup>2</sup>	Iveco Camión	0,0027	h	1,06E+2	7,72E-4	1,90E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,07E+2
		Superficie de vegetación y suelo eliminados de Labor de regadío			5,39E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,39E+6
		Labor regadío	1	m <sup>2</sup>	5,39E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,39E+6
1897,09	m <sup>2</sup>	Superficie de vegetación y suelo eliminados de Olivar			4,80E+4	1,61E-5	3,98E-5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,80E+4
		Olivar	1	m <sup>2</sup>	4,80E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,80E+4
22266,98	m <sup>2</sup>	Iveco Camión	0,00152	h	2,23E+0	1,61E-5	3,98E-5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,24E+0
		Superficie de vegetación y suelo eliminados de Pastizal tipo			7,86E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,86E+5
		Pastizal tipo mediterráneo	1	m <sup>2</sup>	7,86E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,86E+5
259657,79	m <sup>2</sup>	Superficie de vegetación y suelo eliminados de Pinares dominados			1,65E+7	1,03E-2	2,53E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,65E+7
		Pinares dominados por P. halepensis o P. pinea	1	m <sup>2</sup>	1,65E+7	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,65E+7
185748,72	m <sup>2</sup>	Iveco Camión	0,00705	h	1,41E+3	1,03E-2	2,53E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,42E+3
		Superficie de vegetación y suelo eliminados de Tomillares-Matorral			4,36E+6	1,87E-3	4,61E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,36E+6
		Tomillares-Matorral hasta medio metro	1	m <sup>2</sup>	4,36E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,36E+6
		Iveco Camión	0,0018	h	2,58E+2	1,87E-3	4,61E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,60E+2
Estabilizaciones					8,44E+6	3,27E+2	2,26E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,12E+6
7588,72	m <sup>3</sup>	Grava cemento			6,88E+4	3,51E+0	2,46E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,62E+4
		Caterpillar Cargadora sobre ruedas 980 C	0,0036	h	5,81E+3	3,03E-1	2,12E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,45E+3
		Caterpillar Motoniveladora CAT 12 G	0,082	h	6,16E+4	3,14E+0	2,20E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,83E+4
		Dynapac Rodillo vibrante Tandem CC522	0,00085	h	5,63E+2	2,87E-2	2,01E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,23E+2
		WIRTGEN Extendidora Wirtgen SP 500	0,00089	h	7,95E+2	4,05E-2	2,84E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,80E+2
9621,53	m <sup>3</sup>	Suelo cemento			1,04E+6	3,28E+1	2,24E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,11E+6
		Caterpillar Cargadora sobre ruedas 980 C	0,0036	h	7,37E+3	3,84E-1	2,69E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,18E+3
		Caterpillar Motoniveladora CAT 12 G	0,646	h	6,16E+5	3,14E+1	2,20E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,82E+5
		Dynapac Rodillo vibrante Tandem CC522	0,00085	h	7,14E+2	3,64E-2	2,55E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,90E+2
		WIRTGEN Extendidora Wirtgen SP 500	0,00089	h	1,01E+3	5,14E-2	3,60E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,12E+3
		Cemento generico	40,5	kg	4,20E+5	9,18E-1	1,25E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,21E+5
		Komatsu Dumper rígido 465	0,0081	h	7,16E+1	4,36E-4	1,67E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,21E+1
86523,51	m <sup>3</sup>	Suelo estabilizado in-situ			7,32E+6	2,90E+2	2,01E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,93E+6
		Caterpillar Cargadora sobre ruedas 980 C	0,0036	h	6,62E+4	3,46E+0	2,42E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,35E+4

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
<b>Excavaciones</b>		Caterpillar Motoniveladora CAT 12 G	0,646	h	5,54E+6	2,82E+2	1,98E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,13E+6
		Dynapac Rodillo vibrante Tandem CC522	0,00085	h	6,42E+3	3,27E-1	2,29E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,11E+3
		WIRTGEN Extendedora Wirtgen SP 500	0,00089	h	9,06E+3	4,62E-1	3,23E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,00E+4
		Cemento generico	18,3	kg	1,71E+6	3,73E+0	5,08E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,71E+6
		Komatsu Dumper rígido 465	0,00366	h	2,91E+2	1,77E-3	6,78E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,93E+2
					4,32E+7	2,13E+3	1,48E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,76E+7
	3912320,8	Excav. Dte sin Clasif. M/Mec.			3,99E+7	1,96E+3	1,37E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,40E+7
		Caterpillar Cargadora sobre ruedas 980 C	0,004	h	3,33E+6	1,74E+2	1,22E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,69E+6
		Caterpillar Motoniveladora CAT 12 G	0,09	h	3,49E+7	1,78E+3	1,24E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,86E+7
		Residuo Tierras y piedras	1,5	m³	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
<b>Rellenos y terraplenes</b>		Iveco Camión	0,55	h	1,66E+6	1,20E+1	2,97E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,67E+6
	346521,37	Excav. Tte. Zanja sin Clasif. M/Mec			3,30E+6	1,63E+2	1,14E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,64E+6
		Caterpillar Excavadora Ruedas M 313 D	0,016	h	5,16E+5	2,63E+1	1,84E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,72E+5
		Atlas Carro perforador Copco Roc 722	0,067	h	2,37E+6	1,21E+2	8,45E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,62E+6
		Caterpillar Cargadora sobre ruedas 980 C	0,004	h	2,95E+5	1,54E+1	1,08E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,27E+5
		Residuo Tierras y piedras	1,2	m³	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Iveco Camión	0,44	h	1,18E+5	8,54E-1	2,10E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,18E+5
					2,89E+8	1,47E+4	1,03E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,20E+8
	34734	Acabado y Refino de Taludes			3,04E+4	1,55E+0	1,09E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,37E+4
		Caterpillar Excavadora Ruedas M 313 D	0,0094	h	3,04E+4	1,55E+0	1,09E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,37E+4
<b>Rell. Localiz. Mater. Selección.</b>	334528,78	Rell. Localiz. Mater. Selección.			9,93E+5	3,28E+1	2,21E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,06E+6
		Caterpillar Excavadora Ruedas M 313 D	0,019	h	5,92E+5	3,02E+1	2,11E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,56E+5
		Caterpillar Compactador alta velocidad CAT 825 C										
		pata cabra	0,00014	h	1,04E+4	5,41E-1	3,79E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,15E+4
		Grava natural y arena	1,7	t	1,71E+5	5,04E-1	1,51E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,71E+5
		Iveco Camión	0,85	h	2,20E+5	1,59E+0	3,92E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,21E+5
					1,02E+3	6,73E-3	2,35E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,03E+3
	853,45	Relleno Localizado Mater. Filtrante										
		Caterpillar Compactador alta velocidad CAT 825 C										
		pata cabra	0,00014	h	2,64E+1	1,38E-3	9,66E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,94E+1
<b>Relleno Zanjas Mater. Excavación</b>		Grava natural y arena	1,7	t	4,36E+2	1,29E-3	3,86E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,37E+2
		Iveco Camión	0,85	h	5,60E+2	4,06E-3	1,00E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,63E+2
	295644,49	Relleno Zanjas Mater. Excavación			1,71E+7	8,92E+2	6,24E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,90E+7
		Caterpillar Excavadora Ruedas M 313 D	0,1	h	2,75E+6	1,40E+2	9,83E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,05E+6
		Caterpillar Compactador alta velocidad CAT 825 C										
		pata cabra	0,22	h	1,44E+7	7,51E+2	5,26E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,60E+7

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
<b>3118201,9</b>	<b>m³</b>	<b>Terraplen procedente excavación</b>			<b>2,53E+8</b>	<b>1,29E+4</b>	<b>9,03E+4</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>2,80E+8</b>
		Caterpillar Motoniveladora CAT 12 G	<b>0,819</b>	<b>h</b>	2,53E+8	1,29E+4	9,03E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,80E+8
		Caterpillar Compactador alta velocidad CAT 825 C										
		pata cabra	<b>0,00014</b>	<b>h</b>	9,66E+4	5,04E+0	3,53E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,07E+5
<b>18739,87</b>	<b>m³</b>	<b>Terraplén Suelo Adecuado</b>			<b>1,37E+6</b>	<b>6,94E+1</b>	<b>4,85E+2</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>1,52E+6</b>
		Caterpillar Motoniveladora CAT 12 G	<b>0,732</b>	<b>h</b>	1,36E+6	6,93E+1	4,85E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,50E+6
		Caterpillar Compactador alta velocidad CAT 825 C										
		pata cabra	<b>0,00014</b>	<b>h</b>	5,80E+2	3,03E-2	2,12E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,44E+2
		Grava natural y arena	<b>1,7</b>	<b>t</b>	9,56E+3	2,82E-2	8,47E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,59E+3
		Iveco Camión	<b>0,425</b>	<b>h</b>	6,15E+3	4,46E-2	1,10E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,18E+3
<b>180671,81</b>	<b>m³</b>	<b>Terraplen Suelo Seleccionado</b>			<b>1,48E+7</b>	<b>7,48E+2</b>	<b>5,23E+3</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>1,64E+7</b>
		Caterpillar Motoniveladora CAT 12 G	<b>0,819</b>	<b>h</b>	1,47E+7	7,47E+2	5,23E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,62E+7
		Caterpillar Compactador alta velocidad CAT 825 C										
		pata cabra	<b>0,00001</b>	<b>h</b>	5,60E+2	2,92E-2	2,05E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,21E+2
		Grava natural y arena	<b>1,7</b>	<b>t</b>	9,22E+4	2,72E-1	8,16E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,25E+4
		Iveco Camión	<b>0,425</b>	<b>h</b>	5,93E+4	4,30E-1	1,06E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,96E+4
<b>19321,84</b>	<b>m³</b>	<b>Terraplen Suelo Tolerable</b>			<b>1,43E+6</b>	<b>7,20E+1</b>	<b>5,03E+2</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>1,58E+6</b>
		Caterpillar Motoniveladora CAT 12 G	<b>0,732</b>	<b>h</b>	1,40E+6	7,14E+1	5,00E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,55E+6
		Caterpillar Compactador alta velocidad CAT 825 C										
		pata cabra	<b>0,002</b>	<b>h</b>	8,55E+3	4,46E-1	3,12E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,49E+3
		Grava natural y arena	<b>1,7</b>	<b>t</b>	9,86E+3	2,91E-2	8,73E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,89E+3
		Iveco Camión	<b>0,85</b>	<b>h</b>	1,27E+4	9,20E-2	2,27E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,28E+4
<b>ORDENACIÓN ECOLÓGICA, ESTÉTICA Y PAISAJÍSTICA</b>												
<b>Recuperación Ambiental</b>												
<b>760</b>	<b>m²</b>	<b>Actuaciones en tramos de firme a demoler</b>			<b>-1,04E+7</b>	<b>1,55E+2</b>	<b>1,09E+3</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>-1,00E+7</b>
		Ref. Retroexcavadora sobre neumáticos 82 CV	<b>0,07</b>	<b>h</b>	-2,28E+4	2,00E-1	1,40E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-2,24E+4
		Caterpillar D 6 D	<b>0,005</b>	<b>h</b>	3,21E+3	1,61E-1	1,12E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,55E+3
		Ref. Bull 140 cv	<b>0,005</b>	<b>h</b>	3,91E+2	1,99E-2	1,40E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,33E+2
		Pastizal tipo mediterráneo	<b>1</b>	<b>m²</b>	3,84E+2	1,96E-2	1,37E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,25E+2
<b>4276</b>	<b>m²</b>	<b>Plantaciones en muros y riberas</b>			<b>-2,68E+4</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>-2,68E+4</b>
		Ref. Retroexcavadora sobre neumáticos 82 CV	<b>0,07</b>	<b>h</b>	-3,31E+4	9,03E-1	6,32E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-3,12E+4
		Plantación de matorral rebrotador de mediano desarrollo (hasta un metro)	<b>0,25</b>	<b>m²</b>	1,81E+4	9,03E-1	6,32E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,00E+4
		Plantación de matorral rebrotador de gran desarrollo (más de un metro)	<b>0,4</b>	<b>m²</b>	-1,27E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,27E+4
			<b>0,4</b>	<b>m²</b>	-2,03E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-2,03E+4

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
1760	m <sup>2</sup>	Plantación de árboles de ribera	0,34	m <sup>2</sup>	-1,81E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,81E+4
		Plantaciones lineales en fajas de dominio público			-1,45E+4	3,72E-1	2,60E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,37E+4
		Ref. Retroexcavadora sobre neumáticos 82 CV	0,07	h	7,43E+3	3,72E-1	2,60E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,21E+3
		Plantación mixta de coníferas y frondosas	1	m <sup>2</sup>	-2,20E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-2,20E+4
54575	m <sup>2</sup>	Reposición de caminos y carreteras			-5,11E+5	1,30E-1	9,09E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-4,84E+5
		Hidrosiembra Bowie Robin Lancer700S	0,001	h	1,03E+3	5,02E-2	3,51E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,13E+3
		Ref. Retroexcavadora sobre neumáticos 82 CV	0,07	h	2,30E+5	1,15E+1	8,07E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,55E+5
		Ref. Bull 140 cv	0,005	h	2,76E+4	1,41E+0	9,84E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,05E+4
		Pastizal tipo mediterráneo	0,35778	m <sup>2</sup>	-6,89E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-6,89E+5
		Plantación mixta de coníferas y frondosas	0,02	m <sup>2</sup>	-1,36E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,36E+4
		Plantación de matorral rebrotador de mediano desarrollo (hasta un metro)	0,104	m <sup>2</sup>	-6,75E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-6,75E+4
5380	m <sup>2</sup>	Revegetación de estructuras y obras de fábrica			-4,14E+4	1,14E+0	7,95E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-3,90E+4
		Ref. Retroexcavadora sobre neumáticos 82 CV	0,07	h	2,27E+4	1,14E+0	7,95E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,51E+4
		Plantación de matorral rebrotador de mediano desarrollo (hasta un metro)	0,96	m <sup>2</sup>	-6,14E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-6,14E+4
		Plantación mixta de coníferas y frondosas	0,04	m <sup>2</sup>	-2,68E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-2,68E+3
145539	m <sup>2</sup>	Revegetación de instalaciones auxiliares y vertedero			-6,89E+5	3,83E-1	2,68E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-6,08E+5
		Ref. Retroexcavadora sobre neumáticos 82 CV	0,07	h	6,14E+5	3,07E-1	2,15E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,79E+5
		Ref. Bull 140 cv	0,005	h	7,35E+4	3,75E+0	2,62E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,14E+4
		Caterpillar D 6 D	0,005	h	7,49E+4	3,82E+0	2,67E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,30E+4
		Pastizal tipo mediterráneo	0,169	m <sup>2</sup>	-8,68E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-8,68E+5
		Plantación de matorral rebrotador de mediano desarrollo (hasta un metro)	0,075	m <sup>2</sup>	-1,30E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,30E+5
		Plantación de Pinus halepensis o P. pinea	0,25	m <sup>2</sup>	-4,54E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-4,54E+5
1620	m <sup>2</sup>	Revegetación en adecuaciones para paso de fauna			-1,28E+4	3,42E-1	2,40E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,21E+4
		Ref. Retroexcavadora sobre neumáticos 82 CV	0,07	h	6,84E+3	3,42E-1	2,40E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,56E+3
		Plantación de matorral rebrotador de mediano desarrollo (hasta un metro)	0,186	m <sup>2</sup>	-3,58E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-3,58E+3
		Plantación de otras Frondosas	0,407	m <sup>2</sup>	-8,22E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-8,22E+3
		Plantación de matorral rebrotador de gran desarrollo (más de un metro)	0,407	m <sup>2</sup>	-7,84E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-7,84E+3
10495	m <sup>2</sup>	Revegetación en enlaces			1,77E+4	2,76E+0	1,93E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,35E+4
		Caterpillar D 6 D	0,005	h	5,40E+3	2,75E-1	1,93E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,98E+3
		Ref. Bull 140 cv	0,005	h	5,30E+3	2,70E-1	1,89E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,87E+3

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
35460	m <sup>2</sup>	Ref. Retroexcavadora sobre neumáticos 82 CV	0,07	h	4,43E+4	2,22E+0	1,55E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,90E+4
		Plantación mixta de coníferas y frondosas	0,09	m <sup>2</sup>	-1,18E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,18E+4
		Plantación de matorral rebrotador de mediano desarrollo (hasta un metro)	0,09	m <sup>2</sup>	-6,80E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-6,80E+2
		Pastizal tipo mediterráneo	1	m <sup>2</sup>	-2,49E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-2,49E+4
		Revegetación en glorietas y enlaces			-1,09E+6	9,37E+0	6,56E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,07E+6
		Ref. Retroexcavadora sobre neumáticos 82 CV	0,07	h	1,50E+5	7,49E+0	5,24E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,66E+5
		Caterpillar D 6 D	0,005	h	1,83E+4	9,31E-1	6,52E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,02E+4
		Ref. Bull 140 cv	0,005	h	1,79E+4	9,13E-1	6,39E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,98E+4
		Hidrosiembra Bowie Robin Lancer700S	0,001	h	6,67E+2	3,26E-2	2,28E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,36E+2
		Plantación mixta de coníferas y frondosas	0,0418	m <sup>2</sup>	-1,85E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,85E+4
355110	m <sup>2</sup>	Plantación de matorral rebrotador de mediano desarrollo (hasta un metro)	0,1058	m <sup>2</sup>	-2,70E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-2,70E+3
		Pastizal tipo mediterráneo	1	m <sup>2</sup>	-1,25E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,25E+6
		Revegetación en taludes			-7,04E+6	8,45E+1	5,91E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-6,86E+6
		Ref. Retroexcavadora sobre neumáticos 82 CV	0,07	h	1,50E+6	7,50E+1	5,25E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,66E+6
		Hidrosiembra Bowie Robin Lancer700S	0,001	h	6,68E+3	3,27E-1	2,29E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,37E+3
		Ref. Bull 140 cv	0,005	h	1,79E+5	9,15E+0	6,40E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,99E+5
		Pastizal tipo mediterráneo	0,65	m <sup>2</sup>	-8,15E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-8,15E+6
		Plantación mixta de coníferas y frondosas	0,05	m <sup>2</sup>	-2,21E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-2,21E+5
		Plantación de matorral rebrotador de mediano desarrollo (hasta un metro)	0,08	m <sup>2</sup>	-3,38E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-3,38E+5
		Plantación de Pinus halepensis o P. pinea	0,005	m <sup>2</sup>	-2,21E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-2,21E+4
13468	m <sup>2</sup>	Tratamiento de zonas bajo tableros de viaductos			-4,05E+5	3,56E+0	2,49E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-3,97E+5
		Ref. Retroexcavadora sobre neumáticos 82 CV	0,07	h	5,69E+4	2,84E+0	1,99E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,29E+4
		Hidrosiembra Bowie Robin Lancer700S	0,001	h	2,53E+2	1,24E-2	8,67E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,79E+2
		Caterpillar D 6 D	0,005	h	6,93E+3	3,54E-1	2,47E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,68E+3
		Ref. Bull 140 cv	0,005	h	6,80E+3	3,47E-1	2,43E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,54E+3
		Pastizal tipo mediterráneo	1	m <sup>2</sup>	-4,75E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-4,75E+5
		Tratamiento de zonas de instalaciones auxiliares			-5,15E+5	7,81E-1	5,47E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-5,13E+5
		Caterpillar D 6 D	0,005	h	7,73E+3	3,94E-1	2,76E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,56E+3
		Ref. Bull 140 cv	0,005	h	7,59E+3	3,87E-1	2,71E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,40E+3
		Pastizal tipo mediterráneo	1	m <sup>2</sup>	-5,30E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-5,30E+5
SEÑALIZACIÓN					3,00E+5	4,93E+0	1,84E+1	0,00E+0	0,00E+0	1,32E-1	7,50E-3	3,07E+5
Barreras					1,77E+3	2,39E-2	1,05E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,78E+3

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
18000	m	Barrera metálica			1,77E+3	2,39E-2	1,05E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,78E+3
		Acero - Acero galvanizado	0,035	kg	1,77E+3	2,39E-2	1,05E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,78E+3
		Iveco Camión	0,0001	h	1,23E+0	7,56E-6	2,05E-5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,24E+0
Marcas viales												
1285,01	m	Marca vial			9,86E+4	2,54E+0	1,73E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,04E+5
		Apex Barredora Powerbox 62	0,002	h	2,03E+2	1,42E-3	8,37E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,05E+2
		Pintura con base de agua, primera capa	0,2	m <sup>2</sup>	2,10E+1	1,03E-3	7,20E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,32E+1
		Residuo Envases de Madera	0	m <sup>3</sup>	1,82E+2	3,91E-4	1,17E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,82E+2
60263	m <sup>2</sup>	Superficie pintada			0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Apex Barredora Powerbox 62	0,1	h	9,84E+4	2,54E+0	1,73E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,04E+5
		Pintura con base de agua, primera capa	1	m <sup>2</sup>	4,93E+4	2,41E+0	1,69E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,44E+4
		Residuo Envases de Madera	0,00002	m <sup>3</sup>	4,26E+4	9,16E-2	2,75E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,27E+4
		ref. Camión 23 t	0,1568	h	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
Paneles												
346	m <sup>2</sup>	Panel de Aluminio			6,52E+3	3,97E-2	1,08E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,55E+3
		Aluminio primario extruido			2,76E+4	3,90E-2	1,03E-1	0,00E+0	0,00E+0	1,32E-1	7,50E-3	2,87E+4
		Iveco Camión	8,78	kg	2,76E+4	3,89E-2	1,02E-1	0,00E+0	0,00E+0	1,32E-1	7,50E-3	2,87E+4
Señales metálicas												
325	Ud.	Señal			4,15E+0	2,55E-5	6,93E-5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,17E+0
		Acero - Acero galvanizado	188,289	kg	1,72E+5	2,32E+0	1,02E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,73E+5
		Iveco Camión	0,28243	h	1,72E+5	2,32E+0	1,02E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,73E+5
ETAPA MANTENIMIENTO Y EXPLOTACIÓN												
ABSORCIONES DE LA CARRETERA												
1394,88	m <sup>3</sup>	Hormigón ubicado Elem. Auxiliares			3,75E+7	3,79E+2	2,52E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,82E+7
		Hormigón con escorias de alto horno C20/25 S4	1	m <sup>3</sup>	-1,78E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,78E+5
45497,87	m <sup>3</sup>	Hormigón ubicado Estructuras			-5,30E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-5,30E+3
		Hormigón con escorias de alto horno C20/25 S4	1	m <sup>3</sup>	-5,30E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-5,30E+3
ILUMINACIÓN												
362	Ud.	Luminarias			-1,73E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,73E+5
		Luminaria 250 w de vapor de sodio	2555	h	2,72E+7	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,72E+7
LIMPIEZA DE LA CARRETERA												
106678	m <sup>2</sup>	Limpieza de carreteras			2,72E+7	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,72E+7
		Apex Barredora Powerbox 62	0,005	h	4,50E+6	2,27E+2	1,59E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,98E+6
88777,5	m <sup>2</sup>	Tala y limpieza de arbustos/arbolado			2,62E+6	1,28E+2	8,96E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,89E+6
		Caterpillar Cargadora sobre ruedas 980 C	0,001	h	2,62E+6	1,28E+2	8,96E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,89E+6



Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
<b>MARCAS VIALES</b>												
60263	m <sup>2</sup>	Superficie pintada			3,80E+6	1,23E+2	8,53E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,06E+6
		Apex Barredora Powerbox 62	0,1	h	3,80E+6	1,23E+2	8,52E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,03E+6
		Pintura con base de agua, repinte	1	m <sup>2</sup>	2,46E+6	1,21E+2	8,44E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,72E+6
1285,01	m	Marca vial			1,33E+6	2,86E+0	8,59E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,33E+6
		Apex Barredora Powerbox 62	0,002	h	6,73E+3	6,36E-2	3,96E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,85E+3
		Pintura con base de agua, repinte	0,2	m <sup>2</sup>	1,05E+3	5,14E-2	3,60E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,16E+3
					5,68E+3	1,22E-2	3,66E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,69E+3
<b>REPARACIÓN DE FIRMES</b>												
15596	t	Mezcla bituminosa en caliente			8,12E+6	2,89E+1	7,82E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,14E+6
		TITAN Extendidora 423 II	0,0001	h	9,63E+3	4,91E-1	3,44E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,07E+4
		Hormigon Bituminoso en Caliente - MBC en fabrica	1	t	8,08E+6	2,83E+1	7,43E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,11E+6
		Iveco Camión	0,5	h	2,66E+4	1,64E-1	4,44E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,68E+4
<b>REPOSICIÓN DE ELEMENTOS NATURALES</b>												
1453,84	m <sup>2</sup>	Plantación de árboles de ribera			-4,23E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-4,23E+4
		Plantación de árboles de ribera	1	m <sup>2</sup>	-3,88E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-3,88E+4
		Bosque de ribera	1	m <sup>2</sup>	-3,49E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-3,49E+3
2369,74	m <sup>2</sup>	Plantación de matorral rebrotador de gran desarrollo (más de un			-1,88E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,88E+5
		Plantación de matorral rebrotador de gran										
		desarrollo (más de un metro)	1	m <sup>2</sup>	-1,85E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,85E+5
		Coscojares-Tojal Brezal_Matorral rebrotador de más										
		de un metro	1	m <sup>2</sup>	-2,13E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-2,13E+3
56231,36	m <sup>2</sup>	Plantación de matorral rebrotador de mediano desarrollo (hasta			-2,73E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-2,73E+6
		Plantación de matorral rebrotador de mediano										
		desarrollo (hasta un metro)	1	m <sup>2</sup>	-2,73E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-2,73E+6
659,34	m <sup>2</sup>	Plantación de otras Frondosas			-3,44E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-3,44E+4
		Plantación de otras Frondosas	1	m <sup>2</sup>	-2,51E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-2,51E+4
		Otras Frondosas	1	m <sup>2</sup>	-9,30E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-9,30E+3
38160,3	m <sup>2</sup>	Plantación de Pinus halepensis o P. pinea			-1,81E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,81E+6
		Plantación de Pinus halepensis o P. pinea	1	m <sup>2</sup>	-1,53E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,53E+6
		Pinares dominados por P. halepensis o P. pinea	1	m <sup>2</sup>	-2,79E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-2,79E+5
23248,98	m <sup>2</sup>	Plantación mixta de coníferas y frondosas			-1,18E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,18E+6
		Plantación mixta de coníferas y frondosas	1	m <sup>2</sup>	-9,33E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-9,33E+5
		Coníferas y frondosas	1	m <sup>2</sup>	-2,51E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-2,51E+5



Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
<b>PROYECTO AUTOPISTA GC-1. TRAMO: PUERTO RICO-MOGÁN</b>												
<b>ETAPA CONSTRUCCIÓN</b>												
<b>DRENAJE</b>												
<b>Arquetas y sumideros</b>												
487	Ud.	Arqueta			2,39E+8	1,77E+4	4,76E+4	0,00E+0	0,00E+0	1,06E-1	6,00E-3	2,54E+8
		Formigón genérico C20/25 16 S4	0,3653	m³	4,64E+4	1,38E+2	2,12E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,99E+4
		Residuo Envases de Madera	0,00057	m³	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Iveco Camión	0,135	h	5,08E+1	3,68E-4	9,07E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,11E+1
102	Ud.	Imbornal sumidero			2,72E+3	8,09E+0	1,24E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,92E+3
		Formigón genérico C20/25 16 S4	0,102	m³	2,71E+3	8,09E+0	1,19E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,92E+3
		Iveco Camión	0,0377	h	2,97E+0	2,15E-5	5,31E-5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,99E+0
<b>Cunetas</b>												
6094	m	Cunetas prefabricadas			4,16E+5	7,20E+2	6,34E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,53E+5
		Caterpillar Excavadora Ruedas M 313 D	0,006	h	3,41E+3	1,74E-1	1,22E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,53E+5
		Caterpillar Motoniveladora CAT 12 G	0,2882	h	1,74E+5	8,87E+0	6,21E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,77E+3
		Formigón genérico C20/25 16 S4	0,15	m³	2,38E+5	7,11E+2	1,04E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,93E+5
		Residuo Envases de Madera	0,002	m³	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,56E+5
		Komatsu Dumper rígido 465	0,111	h	5,48E+2	2,84E-3	1,18E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
<b>Drenes</b>												
18994,78	m³	Formigón dren			1,17E+7	2,65E+3	2,13E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,19E+7
		Caterpillar Extendedora AP757	0,15	h	8,31E+6	1,29E+3	1,87E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,40E+6
		Formigón genérico	1,02	m³	4,07E+5	2,12E+1	1,49E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,51E+5
14903,55	m	Zanja drenante			7,91E+6	1,27E+3	3,84E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,95E+6
		Caterpillar Excavadora Ruedas M 313 D	0,008	h	2,14E+4	6,08E-1	4,14E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,27E+4
		Caterpillar Compactador alta velocidad CAT 825 C			1,11E+4	5,66E-1	3,96E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,23E+4
		pata cabra	0,00007	h	2,31E+2	1,20E-2	8,43E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,56E+2
		Grava natural y arena	2,25	t	1,01E+4	2,97E-2	8,91E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,01E+4
1239237,7	kg	Acero para armar dren			3,49E+6	4,70E+1	2,07E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,50E+6
		Acero - Acero galvanizado	1	kg	3,49E+6	4,70E+1	2,06E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,50E+6
		Residuos Hierro y acero	0,00001	kg	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Iveco Camión	0,002	h	1,69E+3	1,04E-2	2,83E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,70E+3
		ref. Camión 23 t	0	h	8,95E-3	5,45E-8	1,48E-7	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,00E-3
72881,4	m²	Geotextil			-7,98E+4	1,31E+3	8,92E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-4,67E+4
		Geotextil de Yute	1	kg	-7,98E+4	1,31E+3	8,91E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-4,67E+4
		Komatsu Dumper rígido 465	0,0004	h	2,68E+1	1,63E-4	6,24E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,70E+1

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
<b>Tubos de acero</b>												
11267	m	Tubo de acero			2,65E+5	3,57E+0	1,57E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,66E+5
		Acero - Acero galvanizado	8,37	kg	2,65E+5	3,57E+0	1,57E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,66E+5
		Komatsu Dumper rígido 465	0,00167	h	1,73E+1	1,06E-4	4,04E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,74E+1
<b>ESTRUCTURAS</b>												
<b>Armadura de acero</b>												
4053462,2	kg	Acero para armar estructuras			1,14E+7	1,54E+2	6,75E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,14E+7
		Acero - Acero galvanizado	1	kg	1,14E+7	1,54E+2	6,75E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,14E+7
		Residuos Hierro y acero	0,00001	kg	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Iveco Camión	0,002	h	5,54E+3	3,40E-2	9,24E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,57E+3
		ref. Camión 23 t	0	h	2,93E-2	1,78E-7	4,84E-7	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,94E-2
<b>Hormigón</b>												
47381,86	m³	Hormigón estructuras			2,07E+7	3,22E+3	4,66E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,10E+7
		Caterpillar Extendidora AP757	0,15	h	1,01E+6	5,29E+1	3,71E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,13E+6
		Hormigón genérico	1,02	m³	1,97E+7	3,17E+3	9,58E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,98E+7
<b>Pilotes</b>												
11412	m	Pilote hormigón armado in situ			3,07E+6	6,49E+1	5,28E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,08E+6
		Atlas Carro perforador Copco Roc 722	0,066	h	7,68E+4	3,92E+0	2,74E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,51E+4
		Hormigón genérico C30/37 S4	0,7854	m³	2,98E+6	6,09E+1	2,51E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,98E+6
		Residuo Tierras y piedras	0,9	m³	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Iveco Camión	0,291	h	2,56E+3	1,86E-2	4,58E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,58E+3
		ref. Camión 23 t	1,304	h	1,13E+4	8,33E-2	2,05E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,14E+4
<b>FIRMES</b>												
<b>Capa de ligante emulsión</b>												
1147,06	t	Emulsión Tratamiento Superficial			1,32E+5	5,92E-1	2,56E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,33E+5
		Apex Barredora Powerbox 62	0,001	h	9,38E+0	4,59E-4	3,21E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,03E+1
		Emulsión bituminosa ECR	1	t	1,21E+5	5,38E-1	2,33E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,21E+5
		Komatsu Dumper rígido 465	0,2	h	2,11E+2	1,28E-3	4,91E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,12E+2
24,5	t	Riego curado			2,71E+3	1,21E-2	5,22E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,72E+3
		TITAN Extendidora 423 II	0	h	2,12E-3	1,08E-7	7,56E-7	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,35E-3
		Emulsión bituminosa ECR	1,05	t	2,71E+3	1,21E-2	5,22E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,72E+3
		Iveco Camión	0,0525	h	9,93E-1	7,20E-6	1,78E-5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,99E-1
84	t	Riego de adherencia			8,88E+3	4,02E-2	1,75E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,93E+3
		TITAN Extendidora 423 II	0,001	h	1,04E+1	5,29E-4	3,70E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,15E+1
		Apex Barredora Powerbox 62	0,001	h	6,87E-1	3,36E-5	2,35E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,58E-1

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
Capas granulares 10314,08 m³	1	Emulsión bituminosa ECR	0,5	t	8,84E+3	3,94E-2	1,71E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,89E+3
		Iveco Camión		h	2,87E+1	1,76E-4	4,79E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,88E+1
	0,004	Zahorra artificial	0,00013		1,57E+4	4,97E-1	3,39E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,67E+4
		Caterpillar Cargadora sobre ruedas 980 C		h	1,57E+4	4,97E-1	3,39E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,67E+4
Mezclas bituminosas 7139,33 t	1,7	Caterpillar Compactador alta velocidad CAT 825 C	0,1462	h	8,77E+3	4,58E-1	3,21E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,74E+3
		pata cabra		h	2,97E+2	1,55E-2	1,08E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,29E+2
	0,0001	Grava natural y arena	0,0033	t	5,26E+3	1,55E-2	4,66E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,28E+3
		Komatsu Dumper rígido 465		h	1,38E+3	8,44E-3	3,23E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,39E+3
Obras complementarias 11324,02 m	0,0033	Mezcla bituminosa en caliente	0,5	t	2,91E+5	8,28E+1	3,91E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,94E+5
		TITAN Extendidora 423 II		h	2,91E+5	8,28E+1	3,91E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,94E+5
	0,0139	Dynapac Rodillo vibrante Tandem CC522	0,00478	h	8,82E+1	4,50E-3	3,15E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,77E+1
		Mezcla Bituminosa en Caliente de Fábrica		t	2,06E+3	1,05E-1	7,34E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,28E+3
MOVIMIENTO DE TIERRAS Despeje y desbroce del terreno	0,0011	Iveco Camión	0,00144	h	2,86E+5	8,26E+1	3,11E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,89E+5
		ref. Camión 23 t		h	2,44E+3	1,50E-2	4,07E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,45E+3
	0,6	Bordillo	0,00152	m	1,10E+5	3,30E+2	5,12E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,18E+5
		Hormigón genérico C20/25 16 S4		m³	1,10E+5	3,30E+2	5,12E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,18E+5
Impacto sobre Sistemas Naturales 10841,17 m²	0,0011	Residuo Hormigón por uso	0,00144	m³	1,11E+5	3,30E+2	4,84E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,19E+5
		Residuo Envases de Madera		m³	-9,34E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-9,34E+2
	0,00152	Iveco Camión	0,00144	h	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		ref. Camión 23 t		h	1,22E+2	8,81E-4	2,17E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,22E+2
Superficie de vegetación y suelo eliminados de Frutales 63157,95 m²	0,0011	Superficie despejada y desbrozada	0,00144	h	3,73E+1	2,27E-4	6,17E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,75E+1
		Caterpillar Tractor sobre cadenas D 6 D		h	1,41E+8	6,48E+3	4,53E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,55E+8
	0,00152	Superficie despejada y desbrozada	0,00144	h	1,30E+7	8,72E+0	5,58E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,31E+7
		Caterpillar Cargadora sobre ruedas 980 C		h	3,07E+5	8,72E+0	5,58E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,23E+5
Labor regadío 1,53E+6 m²	0,0011	Superficie de vegetación y suelo eliminados de Labor de regadío	0,00144	h	3,07E+5	8,72E+0	5,58E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,23E+5
		Iveco Camión		h	3,93E+4	2,01E+0	1,40E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,36E+4
	0,00152	Superficie de vegetación y suelo eliminados de Labor de regadío	0,00144	h	1,06E+5	5,55E+0	3,88E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,18E+5
		Iveco Camión		h	1,61E+5	1,17E+0	2,87E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,62E+5
Labor regadío 1,53E+6 m²	0,0011	Superficie de vegetación y suelo eliminados de Labor de regadío	0,00144	h	1,27E+7	1,22E-3	3,00E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,27E+7
		Iveco Camión		h	1,83E+5	9,22E-5	2,27E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,83E+5
	0,00152	Superficie de vegetación y suelo eliminados de Labor de regadío	0,00144	h	1,83E+5	9,22E-5	2,27E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,83E+5
		Iveco Camión		h	1,27E+1	9,22E-5	2,27E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,28E+1
Labor regadío 1,53E+6 m²	0,0011	Superficie de vegetación y suelo eliminados de Labor de regadío	0,00144	h	1,53E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,53E+6
		Iveco Camión		h	1,53E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,53E+6
	0,00152	Superficie de vegetación y suelo eliminados de Labor de regadío	0,00144	h	1,53E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,53E+6
		Iveco Camión		h	1,53E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,53E+6

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
273199,92	m <sup>2</sup>	Superficie de vegetación y suelo eliminados de Pastizal tipo			1,10E+7	1,13E-3	2,77E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,10E+7
		Pastizal tipo mediterráneo	0,8	m <sup>2</sup>	7,71E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,71E+6
		Brezales-Matorral rebrotador hasta un metro	0,2	m <sup>2</sup>	3,30E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,30E+6
		Iveco Camión	0,00074	h	1,55E+2	1,13E-3	2,77E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,56E+2
<b>Estabilizaciones</b>					<b>2,46E+6</b>	<b>8,58E+1</b>	<b>5,90E+2</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>2,64E+6</b>
3000	m <sup>3</sup>	Suelo cemento			3,31E+5	1,02E+1	7,00E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,52E+5
		Caterpillar 973 C	0,0045	h	2,30E+3	1,20E-1	8,41E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,56E+3
		Caterpillar Motoniveladora CAT 12 G	0,646	h	1,92E+5	9,79E+0	6,85E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,13E+5
		Komatsu Compactadores de ruedas										
		autopropulsados PC 35	0,00039	h	1,35E+2	6,89E-3	4,82E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,50E+2
		WIRTGEN Extendidora Wirtgen SP 500	0,00089	h	3,14E+2	1,60E-2	1,12E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,48E+2
		Cemento generico	40,5	kg	1,31E+5	2,86E-1	3,90E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,31E+5
		Komatsu Dumper rígido 465	1,92	h	5,29E+3	3,23E-2	1,23E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,33E+3
31404,81	m <sup>3</sup>	Suelo estabilizado in-situ			2,13E+6	7,56E+1	5,20E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,28E+6
		Caterpillar 953 D	0,00779	h	2,64E+4	1,35E+0	9,42E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,92E+4
		Caterpillar Motoniveladora CAT 12 G	0,455	h	1,42E+6	7,22E+1	5,05E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,57E+6
		Dynapac Rodillo vibrante Tandem CC522	0,0016	h	4,38E+3	2,24E-1	1,57E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,86E+3
		WIRTGEN Extendidora Wirtgen SP 500	0,00089	h	3,29E+3	1,68E-1	1,17E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,64E+3
		Cemento generico	18,3	kg	6,20E+5	1,35E+0	1,84E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,20E+5
		Komatsu Dumper rígido 465	1,98	h	5,71E+4	3,48E-1	1,33E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,75E+4
<b>Excavaciones</b>					<b>5,45E+7</b>	<b>2,75E+3</b>	<b>1,92E+4</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>6,03E+7</b>
941011,47	m <sup>3</sup>	Excav. Dte sin Clasif. M/Mec.			4,92E+7	2,49E+3	1,74E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,44E+7
		Caterpillar Cargadora sobre ruedas 980 C	0,004	h	8,00E+5	4,18E+1	2,92E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,89E+5
		Caterpillar Motoniveladora CAT 12 G	0,515	h	4,80E+7	2,45E+3	1,71E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,32E+7
		Residuo Tierras y piedras	1,5	m <sup>3</sup>	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Iveco Camión	0,55	h	4,00E+5	2,90E+0	7,14E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,02E+5
773353,73	m <sup>3</sup>	Excav. Dte. Roca			4,66E+6	2,26E+2	1,57E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,14E+6
		Atlas Carro perforador Copco Roc 722	0,02	h	1,58E+6	8,04E+1	5,63E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,75E+6
		Caterpillar M 318 D	0,03	h	2,82E+6	1,44E+2	1,01E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,12E+6
		Residuo Tierras y piedras	1,2	m <sup>3</sup>	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Iveco Camión	0,444	h	2,65E+5	1,92E+0	4,74E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,67E+5
42533,78	m <sup>3</sup>	Excav. T. Vegetal M/Mecánicos			6,34E+4	3,23E+0	2,26E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,02E+4
		Caterpillar Excavadora Ruedas M 313 D	0,016	h	6,34E+4	3,23E+0	2,26E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,02E+4
63627,07	m <sup>3</sup>	Excav. Tte. Zanja sin Clasif. M/Mec			5,88E+5	2,92E+1	2,04E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,50E+5
		Caterpillar Excavadora Ruedas M 313 D	0,0031	h	1,84E+4	9,37E-1	6,56E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,04E+4

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
Rellenos y terraplenes		Atlas Carro perforador Copco Roc 722	0,067	h	4,35E+5	2,22E+1	1,55E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,81E+5
		Caterpillar Cargadora sobre ruedas 980 C	0,0084	h	1,14E+5	5,93E+0	4,15E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,26E+5
		Residuo Tierras y piedras	1,2	m³	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Iveco Camión	0,44	h	2,16E+4	1,57E-1	3,86E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,17E+4
31414,45 m³		Relleno Zanjas Mater. Excavación			7,12E+7	3,63E+3	2,54E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,89E+7
		Caterpillar Excavadora Ruedas M 313 D	0,1	h	1,82E+6	9,47E+1	6,63E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,02E+6
		Caterpillar Compactador alta velocidad CAT 825 C			2,93E+5	1,49E+1	1,04E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,24E+5
		pata cabra	0,22	h	1,53E+6	7,98E+1	5,59E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,70E+6
1216293,1 m³		Terraplen procedente excavación			6,94E+7	3,54E+3	2,48E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,69E+7
		Caterpillar Motoniveladora CAT 12 G	0,576	h	6,94E+7	3,54E+3	2,48E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,68E+7
		Caterpillar Compactador alta velocidad CAT 825 C										
		pata cabra	0,00008	h	2,18E+4	1,14E+0	7,97E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,42E+4
ORDENACIÓN ECOLÓGICA, ESTÉTICA Y PAISAJÍSTICA												
2512 m²		Revegetación y tratamiento en glorietas			8,61E+5	1,37E+2	1,18E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,00E+5
		Ref. Retroexcavadora sobre neumáticos 82 CV	0,07	h	1,62E+3	5,31E-1	3,72E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,74E+3
		Grava natural y arena	0,204	t	1,06E+4	5,31E-1	3,71E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,17E+4
					1,54E+2	4,54E-4	1,36E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,54E+2
16712 m²		Plantación de matorral bajo (hasta medio metro)	0,3	m²	-8,96E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-8,96E+3
		Plantación de matorral rebrotador de mediano										
		desarrollo (hasta un metro)	0,1	m²	-1,81E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,81E+2
		Revegetación y tratamiento en terraplen del barranco del Cura			6,10E+5	9,30E+1	3,96E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,24E+5
47464 m²		Ref. Retroexcavadora sobre neumáticos 82 CV	0,07	h	7,06E+4	3,53E+0	2,47E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,80E+4
		Caterpillar Extendidora AP757	0,014	h	3,34E+4	1,74E+0	1,22E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,71E+4
		Hormigón genérico	0,08	m³	5,46E+5	8,77E+1	2,65E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,49E+5
		Plantación de matorral rebrotador de mediano										
1216293,1 m³		desarrollo (hasta un metro)	0,2	m²	-3,97E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-3,97E+4
		Revegetación y tratamiento enlaces del Lechugal, Mogán y Taurito			3,50E+4	1,00E-1	7,02E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,61E+4
		Ref. Retroexcavadora sobre neumáticos 82 CV	0,07	h	2,00E+5	1,00E+1	7,02E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,22E+5
		Grava natural y arena	0,238	t	3,39E+3	1,00E-2	3,00E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,40E+3
1216293,1 m³		Plantación de matorral rebrotador de mediano										
		desarrollo (hasta un metro)	0,3	m²	-1,69E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,69E+5
		Iveco Camión	0,0119	h	4,36E+2	3,16E-3	7,79E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,39E+2

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
117	m <sup>2</sup>	Tratamiento en obras de drenaje			5,01E+3	7,80E-1	1,09E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,06E+3
		Caterpillar Extendidora AP757	0,014	h	2,34E+2	1,22E-2	8,54E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,60E+2
		Hormigón genérico	0,1	m <sup>3</sup>	4,78E+3	7,68E-1	2,32E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,80E+3
5000	m <sup>2</sup>	Tratamiento en terraplen del barranco Medio Almud, desmontes y			2,10E+5	3,27E-1	4,62E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,12E+5
		Caterpillar Extendidora AP757	0,014	h	9,99E+3	5,21E-1	3,65E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,11E+4
		Hormigón genérico	0,098	m <sup>3</sup>	2,00E+5	3,22E-1	9,72E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,01E+5
<b>SEÑALIZACIÓN</b>												
<b>Barreras</b>												
2252	m	Barrera metálica			2,22E+2	2,99E-3	1,31E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,22E+2
		Acero - Acero galvanizado	0,035	kg	2,22E+2	2,99E-3	1,31E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,22E+2
		Iveco Camión	0,0001	h	1,54E-1	9,46E-7	2,57E-6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,55E-1
<b>Marcas viales</b>												
40161,73	m	Marca vial			6,34E+3	4,43E-2	2,62E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,42E+3
		Apex Barredora Powerbox 62	0,002	h	6,57E+2	3,21E-2	2,25E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,25E+2
		Pintura con base de agua, primera capa	0,2	m <sup>2</sup>	5,68E+3	1,22E-2	3,66E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,69E+3
		Residuo Envases de Madera	0	m <sup>3</sup>	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
<b>Paneles</b>												
276,92	m <sup>2</sup>	Panel de Aluminio			2,21E+4	3,12E-2	8,21E-2	0,00E+0	0,00E+0	1,06E-1	6,00E-3	2,30E+4
		Aluminio primario extruido	8,78	kg	2,21E+4	3,12E-2	8,20E-2	0,00E+0	0,00E+0	1,06E-1	6,00E-3	2,30E+4
		Iveco Camión	0,01756	h	3,32E+0	2,04E-5	5,54E-5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,34E+0
<b>Señales metálicas</b>												
258	Ud.	Señal			1,37E+5	1,84E+0	8,09E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,37E+5
		Acero - Acero galvanizado	188,289	kg	1,37E+5	1,84E+0	8,08E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,37E+5
		Iveco Camión	0,28243	h	4,98E+1	3,06E-4	8,31E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,00E+1
<b>TÚNEL</b>												
<b>Armadura de acero túnel</b>												
1599915	kg	Acero túnel			4,51E+6	6,06E+1	2,67E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,51E+6
		Acero - Acero galvanizado	1	kg	4,50E+6	6,06E+1	2,66E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,51E+6
		Residuos Hierro y acero	0,00001	kg	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Iveco Camión	0,002	h	2,19E+3	1,34E-2	3,65E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,20E+3
		ref. Camión 23 t	0	h	1,16E-2	7,04E-8	1,91E-7	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,16E-2
<b>Hormigón túnel</b>												
50366,28	m <sup>3</sup>	Hormigón túnel			2,20E+7	3,43E+3	4,96E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,23E+7
		Caterpillar Extendidora AP757	0,15	h	1,08E+6	5,63E+1	3,94E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,20E+6
		Hormigón genérico	1,02	m <sup>3</sup>	2,10E+7	3,37E+3	1,02E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,11E+7

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
<b>Pilotes túnel</b>												
11412	m	Pilote hormigón armado túnel			3,00E+6	6,11E+1	2,56E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,01E+6
		Hormigón genérico C30/37 S4	0,7854	m³	3,00E+6	6,11E+1	2,56E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,01E+6
		Residuo Tierras y piedras	0,9	m³	2,98E+6	6,09E+1	2,51E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,98E+6
		Iveco Camión	0,291	h	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		ref. Camión 23 t	1,304	h	2,56E+3	1,86E-2	4,58E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,58E+3
		ref. Camión 23 t	1,304	h	2,27E+4	1,67E-1	4,11E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,28E+4
		ref. Camión 23 t	1,304	h	2,27E+4	1,67E-1	4,11E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,28E+4
<b>ETAPA MANTENIMIENTO Y EXPLOTACIÓN</b>												
<b>ABSORCIONES DE LA CARRETERA</b>												
914,1	m³	Hormigón ubicado Elem. Auxiliares			-1,87E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,87E+5
		Hormigón genérico C20/25 16 S4	1	m³	-3,47E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-3,47E+3
48329,5	m³	Hormigón ubicado Estructuras			-3,47E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-3,47E+3
		Hormigón genérico	1	m³	-1,84E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,84E+5
		Hormigón genérico	1	m³	-1,84E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,84E+5
<b>ILUMINACIÓN</b>												
231	Ud.	Luminarias			1,74E+7	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,74E+7
		Luminaria 250 w de vapor de sodio	2555	h	1,74E+7	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,74E+7
<b>LIMPIEZA DE LA CARRETERA</b>												
80600	m²	Limpieza de carreteras			2,07E+6	1,02E+2	7,11E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,28E+6
		Apex Barredora Powerbox 62	0,005	h	1,98E+6	9,67E+1	6,77E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,18E+6
		Apex Barredora Powerbox 62	0,005	h	1,98E+6	9,67E+1	6,77E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,18E+6
4325	m²	Tala y limpieza de arbustos/arbolado			9,20E+4	4,80E+0	3,36E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,02E+5
		Caterpillar Cargadora sobre ruedas 980 C	0,001	h	9,20E+4	4,80E+0	3,36E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,02E+5
<b>MARCAS VIALES</b>												
40161,73	m	Marcas viales			2,10E+5	1,99E+0	1,24E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,14E+5
		Apex Barredora Powerbox 62	0,002	h	2,10E+5	1,99E+0	1,24E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,14E+5
		Apex Barredora Powerbox 62	0,002	h	3,28E+4	1,61E+0	1,12E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,62E+4
		Pintura con base de agua, repinte	0,2	m²	1,78E+5	3,82E-1	1,14E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,78E+5
<b>REPARACIÓN DE FIRMES</b>												
714	t	Mezcla bituminosa en caliente			3,71E+5	1,30E+0	3,44E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,72E+5
		TITAN Extendidora 423 II	0,0001	h	3,71E+5	1,30E+0	3,44E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,72E+5
		TITAN Extendidora 423 II	0,0001	h	4,41E+1	2,25E-3	1,57E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,89E+1
<b>REPOSICIÓN DE ELEMENTOS NATURALES</b>												
753,6	m²	Plantación de matorral bajo (hasta medio metro)			-8,75E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-8,75E+5
		Hormigon Bituminoso en Caliente - MBC en fábrica	1	t	-8,75E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-8,75E+5
		Iveco Camión	0,5	h	1,22E+3	7,50E-3	2,03E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,23E+3
		Iveco Camión	0,5	h	1,22E+3	7,50E-3	2,03E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,23E+3
		Plantación de matorral bajo (hasta medio metro)	1	m²	-8,75E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-8,75E+5
		Plantación de matorral bajo (hasta medio metro)	1	m²	-8,75E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-8,75E+5

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
17832,8	m <sup>2</sup>	Plantación de matorral rebrotador de mediano desarrollo (hasta un metro)	1	m <sup>2</sup>	-8,67E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-8,67E+5



Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
<b>PROYECTO CARRETERA INTERCONEXIÓN CM-3201 CON A-31. TRAMO I</b>												
<b>ETAPA CONSTRUCCIÓN</b>												
<b>DRENAJE</b>												
<b>Arquetas y sumideros</b>												
26	Ud.	Arqueta			2,44E+8	1,10E+4	4,81E+4	0,00E+0	0,00E+0	1,69E-1	9,60E-3	2,59E+8
		Hormigón genérico C20/25 16 S4	0,06	m³	4,07E+2	1,21E+0	1,86E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,38E+2
		Residuo Envases de Madera	0,00057	m³	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Iveco Camión	0,022	h	4,42E-1	3,20E-6	7,89E-6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,44E-1
21	Ud.	Imbornal sumidero			5,59E+2	1,67E+0	2,55E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,01E+2
		Hormigón genérico C20/25 16 S4	0,102	m³	5,59E+2	1,67E+0	2,44E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,00E+2
		Iveco Camión	0,0377	h	6,11E-1	4,43E-6	1,09E-5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,15E-1
<b>Cunetas</b>												
41119	m	Cuneta de hormigón			1,63E+6	1,22E+3	4,44E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,80E+6
		Caterpillar Excavadora Ruedas M 313 D	0,0056	h	2,14E+4	1,09E+0	7,66E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,67E+6
		Caterpillar Motoniveladora CAT 12 G	0,2882	h	1,17E+6	5,98E+1	4,19E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,38E+4
		Hormigón genérico C20/25 16 S4	0,03	m³	3,22E+5	9,59E+2	1,41E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,30E+6
		Komatsu Dumper rígido 465	0,00877	h	3,31E+2	2,02E-3	7,72E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,46E+5
1703	m	Cunetas prefabricadas			1,16E+5	2,01E+2	1,77E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,27E+5
		Caterpillar Excavadora Ruedas M 313 D	0,006	h	9,52E+2	4,85E-2	3,40E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,05E+3
		Caterpillar Motoniveladora CAT 12 G	0,2882	h	4,86E+4	2,48E+0	1,73E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,38E+4
		Hormigón genérico C20/25 16 S4	0,15	m³	6,66E+4	1,99E+2	2,91E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,16E+4
		Residuo Envases de Madera	0,002	m³	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Komatsu Dumper rígido 465	0,111	h	1,53E+2	7,94E-4	3,29E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,54E+2
<b>Drenes</b>												
2119,19	m³	Hormigón dren			9,86E+5	2,84E+2	2,14E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,00E+6
		Caterpillar Extendidora AP757	0,15	h	4,54E+4	2,37E+0	1,66E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,37E+5
		Hormigón genérico	1,02	m³	8,82E+5	1,42E+2	4,29E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,04E+4
23864,26	kg	Acero para armar dren			6,72E+4	9,04E-1	3,98E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,87E+5
		Acero - Acero galvanizado	1	kg	6,72E+4	9,04E-1	3,97E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,73E+4
		Residuos Hierro y acero	0,00001	kg	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Iveco Camión	0,002	h	3,26E+1	2,00E-4	5,44E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,28E+1
		ref. Camión 23 t	0	h	1,72E-4	1,05E-9	2,85E-9	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,73E-4
7687,09	m²	Geotextil			-8,41E+3	1,38E+2	9,41E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-4,93E+3
		Geotextil de Yute	1	kg	-8,42E+3	1,38E+2	9,40E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-4,93E+3
		Komatsu Dumper rígido 465	0,0004	h	2,82E+0	1,72E-5	6,58E-5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,84E+0

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
<b>Tubos de acero</b>												
259,22	m	Tubo de acero			6,11E+3	8,22E-2	3,61E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,12E+3
		Acero - Acero galvanizado	8,37	kg	6,11E+3	8,22E-2	3,61E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,12E+3
		Komatsu Dumper rígido 465	0,00167	h	3,98E-1	2,43E-6	9,29E-6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,01E-1
<b>ESTRUCTURAS</b>												
<b>Armadura de acero</b>												
1243441,8	kg	Acero para armar estructuras			7,44E+6	7,30E+2	1,06E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,49E+6
		Acero - Acero galvanizado	1	kg	3,50E+6	4,71E+1	2,07E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,51E+6
		Residuos Hierro y acero	0,00001	kg	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Iveco Camión	0,002	h	1,70E+3	1,04E-2	2,84E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,71E+3
		ref. Camión 23 t	0	h	8,99E-3	5,47E-8	1,48E-7	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,03E-3
<b>Hormigón</b>												
8034,81	m³	Hormigón estructuras			3,52E+6	5,47E+2	7,91E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,55E+6
		Caterpillar Extendidora AP757	0,15	h	1,72E+5	8,98E+0	6,29E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,91E+5
		Hormigón genérico	1,02	m³	3,35E+6	5,38E+2	1,63E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,36E+6
<b>Pilotes</b>												
1417	m	Pilote hormigón armado in situ			3,81E+5	8,06E+0	6,55E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,83E+5
		Atlas Carro perforador Copco Roc 722	0,066	h	9,54E+3	4,86E-1	3,40E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,06E+4
		Hormigón genérico C30/37 S4	0,7854	m³	3,70E+5	7,56E+0	3,12E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,71E+5
		Residuo Tierras y piedras	0,9	m³	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Iveco Camión	0,291	h	3,18E+2	2,31E-3	5,69E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,20E+2
		ref. Camión 23 t	1,304	h	1,41E+3	1,03E-2	2,55E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,42E+3
<b>Vigas de hormigón</b>												
206	m	Vigas de hormigón			4,31E+4	1,28E+2	2,05E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,63E+4
		Hormigón genérico C20/25 16 S4	0,8	m³	4,30E+4	1,28E+2	2,05E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,63E+4
		Iveco Camión	0,74	h	1,04E+2	6,40E-4	1,74E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,05E+2
<b>FIRMES</b>												
<b>Capa de ligante emulsión</b>												
179,2	t	Riego de adherencia			6,66E+6	1,97E+3	1,45E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,76E+6
		TITAN Extendidora 423 II	0,0001	h	2,21E+0	1,13E-4	7,90E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,45E+0
		Apex Barridora Powerbox 62	0,001	h	1,47E+0	7,17E-5	5,02E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,62E+0
		Emulsión bituminosa ECR	1	t	1,89E+4	8,41E-2	3,64E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,90E+4
		Iveco Camión	0,5	h	6,12E+1	3,76E-4	1,02E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,15E+1
401,59	m²	Riego imprimación			4,44E+4	1,98E-1	8,56E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,46E+4
		TITAN Extendidora 423 II	0	h	3,47E-2	1,77E-6	1,24E-5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,85E-2

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
Capas granulares	184837,8 m <sup>3</sup>	Emulsión bituminosa ECR	1,05	t	4,44E+4	1,98E-1	8,56E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,46E+4
		Iveco Camión	0,0525	h	1,63E+1	1,18E-4	2,91E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,64E+1
					2,75E+5	8,59E+0	5,85E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,93E+5
		Zahorra artificial			2,75E+5	8,59E+0	5,85E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,93E+5
		Caterpillar Cargadora sobre ruedas 980 C	0,0039	h	1,53E+5	8,00E+0	5,60E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,70E+5
Mezclas bituminosas	153777,53 t	Caterpillar Compactador alta velocidad CAT 825 C	0,00007	h	2,97E+3	1,55E-1	1,08E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,29E+3
		pata cabra	1,7	t	9,43E+4	2,78E-1	8,35E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,46E+4
		Grava natural y arena	0,1462	h	2,48E+4	1,51E-1	5,78E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,50E+4
		Komatsu Dumper rígido 465			6,27E+6	1,78E+3	8,50E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,34E+6
		Mezcla bituminosa en caliente			6,27E+6	1,78E+3	8,50E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,34E+6
Obras complementarias	6160 m	TITAN Extendidora 423 II	0,00021	h	3,99E+3	2,03E-1	1,42E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,42E+3
		Dynapac Rodillo vibrante Tandem CC522	0,0033	h	4,43E+4	2,26E+0	1,58E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,90E+4
		Mezcla Bituminosa en Caliente de Fábrica	1	t	6,16E+6	1,78E+3	6,69E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,23E+6
		Iveco Camión	0,5	h	5,25E+4	3,23E-1	8,77E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,28E+4
					5,98E+4	1,80E+2	2,79E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,43E+4
MOVIMIENTO DE TIERRAS	6160 m	Bordillo			5,98E+4	1,80E+2	2,79E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,43E+4
		Hormigón genérico C20/25 16 S4	0,0375	m <sup>3</sup>	6,02E+4	1,80E+2	2,63E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,47E+4
		Residuo Hormigón por uso	0,0033	m <sup>3</sup>	-5,08E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-5,08E+2
		Residuo Envases de Madera	0,00084	m <sup>3</sup>	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Iveco Camión	0,0139	h	6,61E+1	4,79E-4	1,18E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,65E+1
Despeje y desbroce del terreno	749143,9 m <sup>2</sup>	ref. Camión 23 t	0,00478	h	2,03E+1	1,24E-4	3,36E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,04E+1
					1,45E+8	6,41E+3	4,47E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,59E+8
		Despeje y desbroce del terreno			1,67E+7	1,88E+1	1,20E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,67E+7
					6,61E+5	1,88E+1	1,20E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,98E+5
		Superficie despejada y desbrozada			6,61E+5	1,88E+1	1,20E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,98E+5
Impacto sobre Sistemas Naturales	28003,41 m <sup>2</sup>	Caterpillar Tractor sobre cadenas D 6 D	0,0011	h	8,48E+4	4,33E+0	3,03E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,40E+4
		Caterpillar Cargadora sobre ruedas 980 C	0,00144	h	2,29E+5	1,20E+1	8,38E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,55E+5
		Iveco Camión	0,6	h	3,47E+5	2,52E+0	6,20E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,49E+5
					1,60E+7	3,32E-3	8,17E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,60E+7
		Superficie de vegetación y suelo eliminados de Frutales			4,72E+5	2,38E-4	5,87E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,72E+5
Superficie de vegetación y suelo eliminados de Labor de regadío	18419,47 m <sup>2</sup>	Frutales	1	m <sup>2</sup>	4,72E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,72E+5
		Iveco Camión	0,00152	h	3,29E+1	2,38E-4	5,87E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,30E+1
					4,46E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,46E+5
		Labor regadío	1	m <sup>2</sup>	4,46E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,46E+5
					4,46E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,46E+5

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
236127,6	m <sup>2</sup>	Superficie de vegetación y suelo eliminados de Labor de secano	1	m <sup>2</sup>	4,51E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,51E+6
		Labor secano			4,51E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,51E+6
53742,99	m <sup>2</sup>	Superficie de vegetación y suelo eliminados de Olivar	1	m <sup>2</sup>	1,36E+6	4,57E-4	1,13E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,36E+6
		Olivar			1,36E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,36E+6
		Iveco Camión	0,00152	h	6,31E+1	4,57E-4	1,13E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,34E+1
9914,44	m <sup>2</sup>	Superficie de vegetación y suelo eliminados de Pastizal tipo	1	m <sup>2</sup>	3,50E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,50E+5
		Pastizal tipo mediterráneo			3,50E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,50E+5
52593,6	m <sup>2</sup>	Superficie de vegetación y suelo eliminados de Pinares	1	m <sup>2</sup>	3,00E+6	1,15E-3	2,84E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,00E+6
		Pinares dominados por P. halepensis o P. pinea			3,00E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,00E+6
		Iveco Camión	0,00391	h	1,59E+2	1,15E-3	2,84E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,60E+2
349324,33	m <sup>2</sup>	Superficie de vegetación y suelo eliminados de Viñedo	1	m <sup>2</sup>	5,88E+6	1,47E-3	3,62E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,88E+6
		Viñedo			5,88E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,88E+6
		Iveco Camión	0,00075	h	2,03E+2	1,47E-3	3,62E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,04E+2
<b>Estabilizaciones</b>												
91664,37	m <sup>3</sup>	Suelo estabilizado in-situ			9,81E+5	1,97E+1	1,38E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,02E+6
		Ref. Carg. s/ cadenas Bulldozer	0,0165	h	3,20E+5	1,67E+1	1,17E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,02E+6
		Caterpillar 120 H Global	0,00195	h	1,63E+4	8,31E-1	5,82E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,55E+5
		Rodillo vibratorio autopropulsado 12-14t ASC90	0,0033	h	3,53E+4	1,80E+0	1,26E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,81E+4
		Cal viva	6,12	kg	6,09E+5	3,71E-1	3,14E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,91E+4
		Iveco Camión	0,00306	h	2,17E+2	1,57E-3	3,87E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,10E+5
<b>Excavaciones</b>												
1143905,3	m <sup>3</sup>	Excav. Dte sin Clasif. M/Mec.			6,29E+7	3,19E+3	2,23E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,97E+7
		Caterpillar Cargadora sobre ruedas 980 C	0,004	h	9,73E+5	5,08E+1	3,56E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,62E+7
		Caterpillar Motoniveladora CAT 12 G	0,515	h	5,83E+7	2,98E+3	2,08E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,08E+6
		Residuo Tierras y piedras	1,5	m <sup>3</sup>	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,46E+7
		Iveco Camión	0,55	h	4,86E+5	3,52E+0	8,68E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
238304,13	m <sup>2</sup>	Excav. T. Vegetal M/Mecánicos			3,55E+5	1,81E+1	1,27E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,89E+5
		Caterpillar Excavadora Ruedas M 313 D	0,016	h	3,55E+5	1,81E+1	1,27E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,93E+5
8152,28	m <sup>3</sup>	Excav. Tte. Zanja sin Clasif. M/Mec			2,77E+6	1,41E+2	9,89E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,07E+6
		Komatsu Retro 750	0,0031	h	8,11E+3	4,23E-1	2,96E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,00E+3
		Atlas Carro perforador Copco Roc 722	3,315	h	2,76E+6	1,41E+2	9,84E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,05E+6
		Caterpillar 953 D	0,0084	h	7,39E+3	3,77E-1	2,64E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,18E+3
		Residuo Tierras y piedras	1,2	m <sup>3</sup>	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		Iveco Camión	0,44	h	2,77E+3	2,01E-2	4,95E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,79E+3
<b>Rellenos y terraplenes</b>												
					6,46E+7	3,18E+3	2,22E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,13E+7

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud. Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
2740,92	m³	<b>Rello. Localiz. Mater. no Selección.</b>			1,20E+5	6,06E+0	4,24E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,33E+5
		Caterpillar 973 C	0,00086	h	4,01E+2	2,09E-2	1,47E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,45E+2
		Corinsa Compactador de ruedas autopropulsado										
		CCR1421B	0,5	h	1,18E+5	6,03E+0	4,22E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,31E+5
		Grava natural y arena	1,7	t	1,40E+3	4,13E-3	1,24E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,40E+3
1750	m³	<b>Relleno Localizado Mater. Filtrante</b>			2,48E+4	1,25E+0	8,73E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,74E+4
		BOMAG Rodillos vibrantes 219	0,00024	h	5,91E+1	3,09E-3	2,16E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,57E+1
		Caterpillar Camión bañera DUMPER 770	0,04	h	2,38E+4	1,24E+0	8,70E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,64E+4
		Grava natural y arena	1,7	t	8,93E+2	2,64E-3	7,91E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,96E+2
4995,55	m³	<b>Relleno Zanjas Mater. Excavación</b>			1,06E+4	1,55E-1	7,95E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,08E+4
		Caterpillar Excavadora Ruedas M 313 D	0,0035	h	1,63E+3	8,31E-2	5,81E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,80E+3
		Caterpillar Compactador alta velocidad CAT 825 C										
		pata cabra	0,00014	h	1,55E+2	8,08E-3	5,65E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,72E+2
		Iveco Camión	2,28	h	8,80E+3	6,38E-2	1,57E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,84E+3
1082868,4	m³	<b>Terraplen procedente excavación</b>			6,45E+7	3,17E+3	2,21E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,11E+7
		Caterpillar Motoniveladora CAT 12 G	0,576	h	6,18E+7	3,15E+3	2,20E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,84E+7
		Caterpillar Compactador alta velocidad CAT 825 C										
		pata cabra	0,00008	h	1,94E+4	1,01E+0	7,09E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,15E+4
		Iveco Camión	3,22	h	2,69E+6	1,95E+1	4,81E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	2,71E+6
<b>ORDENACIÓN ECOLÓGICA, ESTÉTICA Y PAISAJÍSTICA</b>												
1350	m²	<b>Revegetación en drenaje transversal y pasos de fauna</b>			-8,56E+6	7,53E+1	5,27E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-8,40E+6
		Ref. Retroexcavadora sobre neumáticos 82 CV	0,07	h	-1,03E+4	2,85E-1	2,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-9,74E+3
		Plantación de matorral rebrotador de mediano desarrollo (hasta un metro)	1	m²	-1,60E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,60E+4
83981,89	m²	<b>Revegetación en expropiaciones temporales y vertederos</b>			-2,94E+5	1,77E+1	1,24E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-2,57E+5
		Ref. Retroexcavadora sobre neumáticos 82 CV	0,07	h	3,55E+5	1,77E+1	1,24E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,92E+5
		Plantación poco densa de Quercus de hoja perenne	0,65	m²	-6,38E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-6,38E+5
		Plantación poco densa de matorral rebrotador de mediano desarrollo (hasta un metro)	0,35	m²	-1,06E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,06E+4
1046,35	m²	<b>Revegetación en glorieta</b>			-1,18E+3	2,49E-1	1,74E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-6,55E+2
		Ref. Bull 140 cv	0,005	h	5,29E+2	2,70E-2	1,89E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,85E+2
		Ref. Retroexcavadora sobre neumáticos 82 CV	0,07	h	4,42E+3	2,21E-1	1,55E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,88E+3
		Grava natural y arena	0,272	t	8,54E+1	2,52E-4	7,56E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,57E+1

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e	
369,84	m <sup>2</sup>	Plantación de matorral rebrotador de mediano desarrollo (hasta un metro)	0,5	m <sup>2</sup>	-6,22E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-6,22E+3	
		Plantación poco densa de matorral rebrotador de gran desarrollo (<1m)	0,2	m <sup>2</sup>	-7,53E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-7,53E+1	
		Plantación poco densa de Quercus de hoja perenne Iveco Camión	0,05 0,136	m <sup>2</sup> h	-2,74E+1 1,10E+2	0,00E+0 7,97E-4	0,00E+0 1,96E-3	0,00E+0 0,00E+0	0,00E+0 0,00E+0	0,00E+0 0,00E+0	0,00E+0 0,00E+0	-2,74E+1 1,11E+2	
		Revegetación en isletas e intersecciones	0,07	h	-1,19E+4	7,81E-2	5,47E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,17E+4	
		Ref. Retroexcavadora sobre neumáticos 82 CV	1	m <sup>2</sup>	1,56E+3	7,81E-2	5,47E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,73E+3	
		Pastizal tipo mediterráneo			-1,31E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,31E+4	
		Plantación de matorral rebrotador de gran desarrollo (más de un metro)	0,5	m <sup>2</sup>	-1,33E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,33E+2	
		Plantación de Quercus de hoja perenne	0,5	m <sup>2</sup>	-2,42E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-2,42E+2	
		Revegetación en taludes de desmonte sobre suelo	0,07	h	-2,52E+6	1,72E+1	1,21E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-2,48E+6	
		Ref. Retroexcavadora sobre neumáticos 82 CV	0,001	h	3,43E+5	1,71E+1	1,20E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,79E+5	
81184	m <sup>2</sup>	Hidrosiembra Bowie Robin Lancer700S	0,001	h	1,53E+3	7,47E-2	5,23E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,68E+3	
		Pastizal tipo mediterráneo	1	m <sup>2</sup>	-2,87E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-2,87E+6	
		Revegetación en terraplén y desmontes 3H:2V	0,005	h	-5,18E+6	3,97E+1	2,78E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-5,10E+6	
		Ref. Bull 140 cv	0,005	h	8,43E+4	4,30E+0	3,01E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,33E+4	
		Ref. Retroexcavadora sobre neumáticos 82 CV	0,07	h	7,04E+5	3,52E+1	2,47E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,79E+5	
		Hidrosiembra Bowie Robin Lancer700S	0,001	h	3,14E+3	1,53E-1	1,07E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,46E+3	
		Pastizal tipo mediterráneo	1	m <sup>2</sup>	-5,89E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-5,89E+6	
		Plantación de matorral rebrotador de gran desarrollo (más de un metro)	0,25	m <sup>2</sup>	-3,00E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-3,00E+4	
		Plantación de Quercus de hoja perenne	0,25	m <sup>2</sup>	-5,46E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-5,46E+4	
		Tratamiento en desmonte sobre roca	0,001	h	1,01E+2	4,95E-3	3,47E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,12E+2	
28357,55	m <sup>2</sup>	Hidrosiembra Bowie Robin Lancer700S	0,001	h	1,01E+2	4,95E-3	3,47E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,12E+2	
		Áreas de expropiación temporal y vertederos	1	m <sup>2</sup>	-5,42E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-5,42E+5	
		Labor seco	1	m <sup>2</sup>	-5,42E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-5,42E+5	
		SEÑALIZACIÓN											
		Barreras			2,68E+5	3,09E+0	2,11E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,69E-1	9,60E-3	2,70E+5	
		25690	m	Barrera metálica	0,5	kg	3,62E+4	4,87E-1	2,14E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,62E+4
			Acero - Acero galvanizado	0,5	kg	3,62E+4	4,87E-1	2,14E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,62E+4
			Iveco Camión	0,0001	h	1,75E+0	1,08E-5	2,93E-5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,76E+0
		Marcas viales			1,61E+4	1,17E-1	6,98E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,63E+4

Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
<b>100716,33</b>	<b>m</b>	<b>Marca vial</b>			<b>1,59E+4</b>	<b>1,11E-1</b>	<b>6,56E-1</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>1,61E+4</b>
		Apex Barredora Powerbox 62	0,002	h	1,65E+3	8,06E-2	5,64E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,82E+3
		Pintura con base de agua, primera capa	0,2	m <sup>2</sup>	1,42E+4	3,06E-2	9,19E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,43E+4
		Residuo Envases de Madera	0	m <sup>3</sup>	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
<b>148,31</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>Superficie pintada</b>			<b>2,42E+2</b>	<b>6,26E-3</b>	<b>4,25E-2</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>2,55E+2</b>
		Apex Barredora Powerbox 62	0,1	h	1,21E+2	5,93E-3	4,15E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,34E+2
		Pintura con base de agua, primera capa	1	m <sup>2</sup>	1,05E+2	2,25E-4	6,76E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,05E+2
		Residuo Envases de Madera	0,00002	m <sup>3</sup>	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
		ref. Camión 23 t	0,1568	h	1,60E+1	9,77E-5	2,65E-4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,61E+1
<b>Paneles</b>												
<b>442,8</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>Panel de Aluminio</b>			<b>3,53E+4</b>	<b>4,99E-2</b>	<b>1,31E-1</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>1,69E-1</b>	<b>9,60E-3</b>	<b>3,67E+4</b>
		Aluminio primario extruido	8,78	kg	3,53E+4	4,98E-2	1,31E-1	0,00E+0	0,00E+0	1,69E-1	9,60E-3	3,67E+4
		Iveco Camión	0,01756	h	5,31E+0	3,27E-5	8,86E-5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,34E+0
<b>Señales metálicas</b>												
<b>341</b>	<b>Ud.</b>	<b>Señal</b>			<b>1,81E+5</b>	<b>2,43E+0</b>	<b>1,07E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>1,81E+5</b>
		Acero - Acero galvanizado	188,289	kg	1,81E+5	2,43E+0	1,07E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,81E+5
		Iveco Camión	0,28243	h	6,58E+1	4,05E-4	1,10E-3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,61E+1
<b>ETAPA MANTENIMIENTO Y EXPLOTACIÓN</b>												
<b>ILUMINACIÓN</b>												
<b>1090</b>	<b>Ud.</b>	<b>Luminarias</b>			<b>8,19E+7</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>8,19E+7</b>
		Luminaria 250 w de vapor de sodio	2555	h	8,19E+7	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,19E+7
<b>ABSORCIONES DE LA CARRETERA</b>												
<b>1464,57</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>Hormigón ubicado Elem. Auxiliares</b>			<b>-5,57E+3</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>-5,57E+3</b>
		Hormigón genérico C20/25 16 S4	1	m <sup>3</sup>	-5,57E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-5,57E+3
<b>8360,3</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>Hormigón ubicado Estructuras</b>			<b>-3,18E+4</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>-3,18E+4</b>
		Hormigón genérico	1	m <sup>3</sup>	-3,18E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-3,18E+4
<b>LIMPIEZA DE LA CARRETERA</b>												
<b>204666</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>Limpieza de carreteras</b>			<b>5,02E+6</b>	<b>2,46E+2</b>	<b>1,72E+3</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>5,54E+6</b>
		Apex Barredora Powerbox 62	0,005	h	5,02E+6	2,46E+2	1,72E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,54E+6
<b>41704</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>Tala y limpieza de arbustos/arbolado</b>			<b>8,87E+5</b>	<b>4,63E+1</b>	<b>3,24E+2</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>9,85E+5</b>
		Caterpillar Cargadora sobre ruedas 980 C	0,001	h	8,87E+5	4,63E+1	3,24E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,85E+5
<b>MARCAS VIALES</b>												
<b>148,31</b>	<b>m</b>	<b>Superficie pintada</b>			<b>9,34E+3</b>	<b>3,04E-1</b>	<b>2,10E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>0,00E+0</b>	<b>9,97E+3</b>
		Apex Barredora Powerbox 62	0,1	h	6,06E+3	2,97E-1	2,08E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	6,69E+3
		Pintura con base de agua, repinte	1	m <sup>2</sup>	3,28E+3	7,04E-3	2,11E-2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	3,28E+3



Medición	Ud.	Descripción	nº UD/ Ud.Med	UD	kg CO <sub>2</sub>	kg CH <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O	kg SF <sub>6</sub>	kg CHF <sub>3</sub>	kg CF <sub>4</sub>	kg C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	kg CO <sub>2</sub> e
100716,33	m	Marca vial			5,28E+5	4,99E+0	3,11E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	5,37E+5
		Apex Barredora Powerbox 62	0,002	h	8,23E+4	4,03E+0	2,82E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	9,08E+4
		Pintura con base de agua, repinte	0,2	m²	4,45E+5	9,57E-1	2,87E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,46E+5
REPARACIÓN DE FIRMES												
15377,75	t	Mezcla bituminosa en caliente			8,01E+6	2,82E+1	7,44E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	8,04E+6
		TITAN Extendidora 423 II	0,0001	h	9,50E+2	4,84E-2	3,39E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	1,05E+3
REPOSICIÓN DE ELEMENTOS NATURALES												
		Hormigon Bituminoso en Caliente - MBC en fabrica	1	t	7,97E+6	2,79E+1	7,33E+1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,99E+6
		Iveco Camión	0,85	h	4,46E+4	2,74E-1	7,45E-1	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,49E+4
41888,92	m²	Plantación de matorral rebrotador de gran desarrollo (más de un desarrollo)			-5,52E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-5,52E+6
		Plantación de matorral rebrotador de gran desarrollo (más de un metro)	1	m²	-3,28E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-3,28E+6
		Coscojares-Tojal Brezal_Matorral rebrotador de más de un metro	1	m²	-3,77E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-3,77E+4
1873,18	m²	Plantación de matorral rebrotador de mediano desarrollo (hasta desarrollo)			-9,10E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-9,10E+4
		Plantación de matorral rebrotador de mediano desarrollo (hasta un metro)	1	m²	-9,10E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-9,10E+4
29393,66	m²	Plantación poco densa de matorral rebrotador de mediano desarrollo			-9,95E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-9,95E+5
		Plantación poco densa de matorral rebrotador de mediano desarrollo (hasta un metro)	1	m²	-9,95E+5	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-9,95E+5
96529,47	m²	Plantación poco densa de Quercus de hoja perenne			-1,11E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,11E+6
		Plantación poco densa de Quercus de hoja perenne	1	m²	-1,02E+6	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,02E+6
		Quercus de hoja perenne	1	m²	-8,69E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-8,69E+4
209,27	m²	Plantación poco densa poco densa de matorral rebrotador de gran desarrollo			-1,19E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,19E+4
		Plantación poco densa poco densa de matorral rebrotador de gran desarrollo (<1m)	1	m²	-1,17E+4	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,17E+4
		Coscojares-Tojal Brezal_Matorral rebrotador de más de un metro	1	m²	-1,88E+2	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-1,88E+2